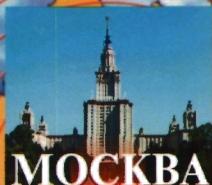


**НАУКУ —  
ВСЕМ!**

**И. А. Вышнеградский**

**Публичные  
популярные  
лекции  
о машинах**



**О ТЕОРИИ МЕХАНИЗМОВ  
БЕЗ ФОРМУЛ**



**URSS**

**ШЕДЕВРЫ  
НАУЧНО-ПОПУЛЯРНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

*НАУКУ — ВСЕМ!*  
*Шедевры научно-популярной литературы*

---

**И. А. Вышнеградский**

**ПУБЛИЧНЫЕ  
ПОПУЛЯРНЫЕ  
ЛЕКЦИИ О МАШИНАХ**

**О теории механизмов  
без формул**

Издание второе



**URSS**

**МОСКВА**

ББК 22.30 30г 30.6 30.8 34.4 34.5

**Вышнеградский Иван Алексеевич**

**Публичные популярные лекции о машинах: О теории механизмов без формул.** Изд. 2-е. — М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2012. — 448 с. (НАУКУ — ВСЕМ! Шедевры научно-популярной литературы.)

Вниманию читателей предлагается книга выдающегося русского ученого-механика и инженера-конструктора И. А. Вышнеградского (1831–1895), в которой содержится курс популярных лекций об устройстве и действии машин. Читатель узнает о приложениях к работе машин различных законов механики, познакомится с работой паровых машин, водяных колес, часов и других механических систем.

Книга хорошо иллюстрирована рисунками и почти не содержит математических формул. Она будет интересна как преподавателям вузов и студентам — будущим механикам и машиностроителям, так и широкому кругу читателей.

*1-е издание выходило под заглавием  
«Публичные популярные лекции о машинах»*

Издательство «Книжный дом «ЛИБРОКОМ»».  
117335, Москва, Нахимовский пр-т, 56.  
Формат 60×90/16. Печ. л. 28. Зак. № ЖУ-96.

Отпечатано в ООО «ЛЕНАНД».  
117312, Москва, пр-т Шестидесятилетия Октября, 11А, стр. 11.

ISBN 978-5-397-03167-7

© Книжный дом «ЛИБРОКОМ»,  
оформление, 2012

11969 ID 160885



9 785397 031677

НАУЧНАЯ И УЧЕБНАЯ ЛИТЕРАТУРА	
	E-mail: <a href="mailto:URSS@URSS.ru">URSS@URSS.ru</a>
	Каталог изданий в Интернете: <a href="http://URSS.ru">http://URSS.ru</a>
	Тел./факс (многоканальный): + 7 (499) 724 25 45
	URSS

# ЛЕКЦІЯ I.

Назначеніе и общій составъ машинъ.

Предметомъ бесѣдъ, которыя нами начинаются будетъ общепонятное изложеніе нѣкоторыхъ важнѣйшихъ результатовъ науки, на которыхъ основано устройство и дѣйствіе машинъ.—Замѣтимъ, что мы собираемся предложить здѣсь лишь нѣкоторые, далеко не всѣ важнѣйшіе законы механики, находящіе себѣ приложеніе въ машинномъ дѣлѣ.—Причина этого заключается отчасти въ недостаткѣ времени, которымъ мы можемъ располагать, но отчасти также въ другихъ болѣе важныхъ соображеніяхъ; я не остановился бы на нихъ можетъ быть, чтобы сохранить время, но они представляютъ мнѣ удобный случай съ самаго начала лекцій объяснить главный предметъ ихъ и цель, которую мы имѣемъ въ виду.—Механика, или наука о движеніи,

начинаетъ свои изслѣдованія съ нѣкоторыхъ весьма известныхъ фактовъ; рассматривая ихъ съ научной точки зрѣнія, то есть изучая ихъ несравненно точнѣе и подробнѣе, нежели какъ этого требуетъ общезитіе, сличая ихъ между собою, стараясь отдѣлать въ нихъ общее, необходимое, существенное отъ частнаго, случайнаго, посторонняго, наука приходитъ къ нѣкоторымъ заключеніямъ, къ нѣкоторымъ непосредственнымъ выводамъ, которые и составляютъ собою первыя ея основанія. — Эти первоначальныя слѣдствія, выводимыя наукою изъ фактовъ, служащихъ для нея исходною точкою, легко могутъ быть изложены языкомъ совершенно общедоступнымъ. — Для этого стоить только ясно и точно выразить самые факты, изъ которыхъ выходитъ наука, стоить только строго опредѣлить и посредствомъ частныхъ примѣровъ разяснить понятія, употребляемые при разсужденіи объ этихъ фактахъ: тогда заключенія, выводимыя изъ нихъ наукою сами собою представляются каждому; каждый безъ малѣйшаго труда выведетъ ихъ самъ безъ всякой посторонней помощи, и если онъ представятся неясными для человѣка, хотя немного привыкшаго разсуждать, то причина этого будетъ заключаться не въ трудности самыхъ положеній, но единственно въ неискusstвъ изложенія.

Но наука не останавливается на этих ближайших следствияхъ. Она идетъ далѣе; соединяя между собою полученныя уже положенія, она выводитъ новые, болѣе отдаленные законы и следствія. — Эти следствія уже не такъ доступны для общепонятнаго изложенія. Причина заключается во первыхъ въ томъ, что если употреблять для выраженія этихъ новыхъ законовъ лишь тѣ понятія, которыя встрѣчаются въ обыкновенной, всѣдневной нашей жизни, то выраженіе ихъ сдѣлается не помѣрно длиннымъ, утомительнымъ для вниманія, и чрезвычайно обременительнымъ для памяти, а вслѣдствіе этого самыя законы представляются уму довольно темными и непонятными. Чтобы сдѣлать ихъ яснѣе, наука составляетъ новыя понятія, неупотребляющіяся въ обыкновенной, всѣдневной нашей жизни. — Составленіе ихъ не представляетъ ничего затруднительнаго, — но чтобы употреблять ихъ безъ затрудненія, необходимо съ ними освоиться, къ нимъ привыкнуть, — и конечно нельзя требовать отъ человѣка только что составившаго ихъ въ умѣ своемъ какой нибудь ловкости въ обращеніи съ ними. Это обстоятельство весьма сильно затрудняетъ общепонятное изложеніе отдаленнѣйшихъ следствій науки.

Кромѣ того самый выводъ этихъ следствій не-

рѣдко заключаетъ въ себѣ цѣлый длинный и сложный рядъ посылокъ и умозаключеній, за которыми почти невозможно бываетъ слѣдить человеку не привыкшему къ научнымъ соображеніямъ. Есть, правда средство облегчить эти разсужденія, есть средство представить ихъ совершенно наглядно посредствомъ небольшого числа знаковъ, соединяемыхъ между собою по нѣкоторымъ опредѣленнымъ, простымъ правиламъ. — Но для этаго пришлось бы искать помощи у другой науки, излагающей значенія этихъ символовъ, и выводящей правила, по которымъ онѣ сочетаются, — короче сказать, — для нагляднаго изображенія разсужденій, употребляемыхъ механикою, пришлось бы искать помощи у математики. Всякій конечно знакомъ съ основными ариѳметическими правилами, по которымъ производятся дѣйствія надъ числами; правила эти употребляемыя каждымъ по нѣскольку разъ ежедневно, конечно не представляютъ ни малѣйшаго затрудненія; тоже нужно сказать и объ нѣкоторыхъ основныхъ понятіяхъ изъ геометріи; каждый знаетъ, что такое прямая линія, что такое кругъ, всякій знаетъ что линіи измѣряются числомъ футовъ въ нихъ заключенныхъ; что для измѣренія площадей употребляется площадь прямоугольника, каждый бокъ котораго составляетъ одинъ футъ, и

который называется квадратнымъ футомъ. Всякому известно, что объемъ тѣлъ измѣряется кубическими футами, т. е. шестигранными тѣлами, подобными игральной кости и имѣющими каждый бокъ равный одному футу, и каждую грань равную одному квадратному футу и, т. д. — Эти небольшія математическія познанія далеко недостаточны для того, чтобы вывести отдаленнѣйшіе механическіе законы, о которыхъ мы говорили. — Тѣмъ не менѣе мы рѣшились излагать здѣсь важнѣйшія слѣдствія механики, относящіяся къ машинамъ, не прибѣгая къ другимъ познаниямъ кромѣ тѣхъ, о коихъ только что упомянули. — Вслѣдствіе этого мы теперь же, къ прискорбію нашему, должны отказаться отъ изложенія многихъ весьма важныхъ для машинъ, механическихъ законовъ. — Мы остановимся лишь на ближайшихъ слѣдствіяхъ механики, и ихъ практическихъ приложеніяхъ. — При этомъ мы будемъ заботиться не столько о количествѣ, сколько о качествѣ сообщаемыхъ познаній, и постараемся, сколько позволятъ намъ силы, — разъяснить въ умахъ слушателей основныя механическія понятія, и придать имъ ту точность и опредѣленность, которыя одни могутъ составлять вѣрную основу ихъ практическихъ приложеній.

Первое понятіе, которое встрѣчается въ меха-

никъ о машинахъ есть безъ сомнѣнія понятіе о машинѣ. Но чтоже такое машина?

На всякій вопросъ безъ труда можно отвѣчать, когда этотъ вопросъ хорошо поставленъ, то есть когда онъ самъ собою представляется въ ряду разсужденій, заключающихъ въ себѣ все, что необходимо для его разрѣшенія. Постараемся же самый вопросъ о машинахъ поставить такимъ образомъ.

Человѣкъ имѣетъ великое множество весьма различныхъ потребностей, которыя бѣльшую частію не могутъ быть удовлетворены безъ пособія предметовъ, взятыхъ изъ внѣшняго матеріальнаго міра. Вещество, сырой матеріалъ для этихъ предметовъ мы находимъ въ природѣ.—Но это вещество далеко еще не представляетъ всѣхъ тѣхъ свойствъ, которыя должны имѣть предметы потребные для человѣка; такъ хирургъ, чтобы произвести операцію нуждается въ ножѣ, т. е. въ тѣлѣ имѣющемъ известную определенную твердость и форму; этого ножа онъ конечно не найдетъ въ природѣ, онъ найдетъ въ ней желѣзную руду, т. е. соединеніе желѣза съ разными другими тѣлами; чтобы получить ножъ, нужно выгнать эти тѣла изъ соединенія съ желѣзомъ, замѣстить ихъ известнымъ количествомъ угля, получить такимъ образомъ *сталь*, и затѣмъ изъ этой стали, изъ этаго соединенія же-

льза съ углемъ, т. е. матеріала уже имѣющаго требуемую твердость, приготовить ножъ или тѣло желаемой формы. Простой примѣръ этотъ показываетъ, что человекъ нерѣдко долженъ самъ придать веществу свойства нужныя для удовлетворенія его потребностей; прежде чѣмъ употреблять найденный имъ въ природѣ сырой матеріалъ, человекъ долженъ извѣстнымъ образомъ обработать его. Эта—то обработка сырыхъ матеріаловъ необходимая для того, чтобы придать имъ свойства, нужныя для человека, и составляетъ предметъ различныхъ промышленныхъ производствъ.— Понятно, что какъ многоразличны могутъ быть свойства, которыхъ ищетъ человекъ въ предметахъ, такъ разнообразна можетъ быть также и обработка сырыхъ матеріаловъ, составляющая предметъ отдѣльныхъ отраслей промышленности. Но во всѣхъ производствахъ, какъ бы различны они не были, есть одна общая имъ всѣмъ черта; чтобы найти ее возьмемъ нѣсколько примѣровъ.—Если изъ нитокъ человекъ хочетъ составить ткань, то онъ долженъ расположить ихъ въ извѣстномъ порядкѣ, и для того извѣстнымъ образомъ перемѣстить ихъ; чтобы получить гладкую поверхность дерева, на которой бы можно было съ удобствомъ производить извѣстныя работы, человекъ долженъ удалить частицы

дерева, выставляющіяся изъ за плоскости, которую онъ хочетъ получить, слѣдовательно опять долженъ частицы дерева извѣстнымъ образомъ передвинуть. Чтобы сдѣлать возможнымъ постѣвъ зерна, чело-вѣкъ долженъ напередъ вспахать землю, т. е. опять перемѣстить части составляющія почву извѣстнымъ образомъ; можно по произволу множить эти примѣры, но и то, что мы сказали до сихъ поръ ясно показываетъ, что всякое промышленное производ-ство въ сущности приводится къ извѣстнымъ совер-шенно определеннымъ перемѣщеніямъ частицъ ве-щества подвергаемаго обработкѣ. — Есть случаи, когда силы природы безъ особаго пособія чело-вѣка производятъ именно тѣ перемѣщенія, которыя ему нужны; такъ чело-вѣку достаточно бросить зерно въ землю, и силы, которыя при этомъ разви-ваются, въ случаѣ благопріятныхъ условій сами при-тягиваютъ къ зерну извѣстныя частицы изъ среды его окружающей, зерно развивается въ растеніе, это растеніе процессомъ, до котораго намъ здѣсь нѣтъ дѣла, втягиваетъ въ себя извѣстныя части, выпу-скаетъ другія, приводитъ втянутыя части, въ извѣ-стное расположеніе, и составляетъ изъ нихъ то, что нужно для чело-вѣка, цвѣтокъ, плодъ, зерно и т. д. При этомъ совершается множество движеній имен-но такихъ, которыя нужны для чело-вѣка, просихо-

дять известная обработка сырыхъ матеріаловъ,— и всё это совершается вполне независимо отъ человека. Но не рѣдко бываютъ случаи, когда силы природы не производятъ тѣхъ движеній, въ которыхъ человекъ имѣетъ нужду. Тогда онъ напрягаетъ мускулы своей руки, ноги и т. д., чтобы произвести это движеніе; чтобы поднять известный не слишкомъ большой грузъ, онъ прямо беретъ этотъ грузъ рукою и поднимаетъ его; чтобы подвинуть какое нибудь тѣло по известному направленію, человекъ давить на это тѣло рукою или всѣмъ своимъ корпусомъ, и тѣло подвигается; но встрѣчаются и такіе случаи, что съ помощію своей мускульной силы человекъ не можетъ произвести нужныхъ для него движеній; такъ не рѣдко бываетъ что предметы, которые должно обработать, т. е. въ которыхъ нужно произвести известные перемѣщенія, недоступны для человека; иногда онъ не можетъ развить своего усилія именно по тому направленію, по которому нужно произвести движеніе, и если требуется произвести движеніе весьма точное, совершенно опредѣленной величины, то развѣ очень искусный и привычный человекъ успѣетъ соразмѣрить движеніе руки такъ, чтобы не подвинуть предмета немножко ближе или немножко дальше чѣмъ слѣдуетъ.

Нерѣдко бываетъ также и то обстоятельство, что перемѣщеніямъ для насъ нужнымъ представляются весьма значительныя сопротивленія, такъ что прилагая къ предметамъ прямо свою мускульную силу, человекъ не въ состояніи передвинуть ихъ согласно съ своимъ желаніемъ; такъ сколько бы ни напрягалъ человекъ своихъ усилій, чтобы поднять прямо дѣйствиемъ своихъ мускуловъ грузъ въ 100 пудовъ, онъ конечно никогда не достигнетъ своей цѣли. Во всѣхъ подобныхъ случаяхъ человекъ старается между своею рукою и тѣломъ на которое хочетъ дѣйствовать поставить какой нибудь посредникъ, который бы развиваемое человекомъ усиліе измѣнилъ и преобразовалъ такъ, чтобы при помощи этого измѣненнаго усилія искомое перемѣщеніе стало возможнымъ. — Посредники употребляемые для этой цѣли человекомъ весьма различны; когда они очень просты, какъ клинъ, стругъ, пила, долото, зубило и т. д. ихъ зовутъ *инструментомъ, приборомъ, снарядомъ* и т. п.; въ случаѣ бѣльшей сложности онъ получаетъ названіе *машины*, или еще чаще *станка*: — токарный станокъ, самопрядка и т. п.

Такимъ образомъ уже и тогда, когда человекъ пользовался только своею мускульною силою для достиженія различныхъ промышленныхъ цѣлей, открывалась необходимость употреблять особые по-

средники между этою силою и веществомъ которое она обрабатываетъ, или, какъ говорятъ въ механикѣ, между силою и сопротивленіемъ, которое она преодолеваетъ. — Тѣмъ важнѣе, тѣмъ необходимѣе стали эти посредники, когда съ развитіемъ цивилизаціи и умноженіемъ потребностей человѣкъ не удовлетворяясь количествомъ продуктовъ производимыхъ его собственною работою, обратился къ неразумной силѣ животныхъ и её заставилъ производить движенія нужныя для его промышленныхъ цѣлей. — Въ этомъ случаѣ важность и значеніе посредника, о которомъ мы говорили возрасла на степень необходимости. Явилась нужда не только преобразовывать надлежащимъ образомъ дѣйствіе силы животныхъ но и управлять ею такъ, чтобы животное не могло произвести какихъ либо вредныхъ для производства движеній. — Какъ цѣнили люди изобрѣтеніе этихъ посредниковъ видно изъ слѣдующаго обстоятельства. По дошедшимъ до насъ свѣдѣніямъ въ древнемъ Египтѣ ежегодно совершались празднества и жертвоприношенія въ благодарность нѣкоторой высшей силѣ за дарованіе плуга, къ которому могли припрягаться быки. — Черта эта чрезвычайно важная и чрезвычайно характеристическая. Жрецы благодарятъ небо не за то, что оно покорило быковъ

власти человека, а за то, что человеку данъ былъ плугъ, дана машина, при посредствѣ которой сила быка можетъ быть употреблена имъ въ пользу. Изобрѣтеніе этого посредника казалось имъ, значить, чрезвычайно важнымъ, и понятно почему.— Огромная неразумная сила только при помощѣ этого посредника стала служить дѣйствительно на пользу человеку.

Послѣ животныхъ человекъ уже, обратился и къ силамъ производящимъ извѣстныя явленія въ неодушевленной природѣ; конечно онъ рано замѣтилъ вліяніе вѣтра на движеніе судовъ, и воспользовался имъ для передвиженія кораблей при помощи паруса; но фабричное употребленіе вѣтра явилось гораздо позже; трудно сказать гдѣ, какъ и когда были изобрѣтены вѣтренныя мельницы; — нѣкоторые историки приписываютъ Помпею честь введенія ихъ въ Италію послѣ возвращенія изъ Азіатскихъ походовъ; говорятъ, что онъ въ Малой Азіи нашелъ и вѣтренныя и водяныя мельницы, и перенесъ ихъ въ Италію;— до него Римляне руками рабовъ толкли зерна и обращали ихъ въ муку, отъ которой за тѣмъ неудобосваримая мякина была отдѣляема просѣваніемъ черезъ особыя сита.—Извѣстіе о перенесеніи въ Италію водяныхъ мельницъ Помпеемъ подтверждается тѣмъ обстоятельствомъ,

что послѣ него онъ довольно скоро распространились не только въ Италиі, но и въ другихъ подвластныхъ Риму странахъ; Авзоній, Римскій поэтъ и ораторъ, жившій около 375 г. по Р. Х. упоминаетъ въ своихъ стихахъ о водяныхъ колесахъ существовавшихъ на одной впадающей въ Мозель рѣчкѣ; съ помощію этихъ колёсъ тамъ молотась мука и рѣзались камни; историки повѣствующіе объ осадѣ Рима Витигесомъ въ 536 г. упоминаютъ о томъ, что онъ запрудилъ 14 большихъ водопроводовъ и тѣмъ остановилъ мельницы молотившія муку для жителей Рима; Велизарій перенесъ эти мельницы на Тибръ. Если сказаніе о вѣтреныхъ мельницахъ, перенесенныхъ Помпеемъ справедливо, то должно предположить, что онъ имѣли устройство неудобное и весьма несовершенное; ибо какъ извѣстно онъ, не смотря на легкость ихъ устройства сравнительно съ водяными колесами не распространились подобно имъ и начали строиться въ Западной Европѣ уже послѣ Крестовыхъ походовъ. Вслѣдствіе этого многіе полагаютъ, что Римлянамъ были извѣстны только водяныя мельницы, и что честь изобрѣтенія или по крайней мѣрѣ усовершенствованія вѣтреныхъ мельницъ должно приписать Арабамъ, отъ которыхъ Крестоносцы переняли ихъ устройство и перенесли его въ Европу.

Какъ бы то ни было, во всякомъ случаѣ, во времена болѣе или менѣе отдаленныя отъ нашего времени, человѣкъ воспользовался уже для промышленности двумя великими двигателями: вѣтромъ и текучею водою. Все дѣло въ этомъ покореніи неодушевленныхъ силъ природы волю и уму человека состояло именно въ изобрѣтеніи надлежащимъ образомъ устроенныхъ посредниковъ для надлежащаго, непрерывнаго преобразованія первоначальныхъ движеній, сообщаемыхъ силами природы въ тѣ, которыя нужны для промышленныхъ цѣлей человека. Новѣйшему времени принадлежатъ великая честь изобрѣтенія и усовершенствованія посредника при помощи котораго человекъ успѣлъ поработить себѣ еще новую великую силу природы, — вслѣдствіе которой паръ и вообще упругія жидкости стремятся занять все большій и большій объемъ. Исторія не забудетъ тѣхъ громадныхъ услугъ, которыя оказаны были человечеству въ этомъ дѣлѣ однимъ изъ величайшихъ его благодѣтелей Ваттомъ. Ему первому принадлежитъ честь устройства паровой машины въ томъ видѣ, въ какомъ она можетъ удовлетворять всѣмъ самымъ строгимъ требованіямъ промышленности.

Человекъ переходилъ т. о. постепенно отъ своихъ мускульныхъ усилій къ употребленію силы жи-

вотныхъ и наконецъ успѣлъ покорить себѣ три великія неодушевленные силы природы. Эти послѣдніе могучіе двигатели постепенно умножили число продуктовъ, которые могъ производить человѣкъ; они уменьшили физическій трудъ его, — доставили ему возможность существовать, даже имѣть извѣстные удобства безъ крайняго напряженія своихъ усилій.

Эти чисто матеріальныя выгоды отразились и на умственномъ и на нравственномъ состояніи человѣческаго рода; ибо доставивши человѣку извѣстную долю досуга, онъ дозволили ему употребить этотъ досугъ на умственный трудъ, который развилъ его способности, — и вмѣстѣ съ тѣмъ возвысилъ его нравственность, — и въ этой возможности умственного и нравственного развитія заключается великое историческое значеніе тѣхъ посредниковъ о которыхъ мы говорили. — Безъ нихъ это развитіе было бы чрезвычайно трудно и не ихъ вина, если человѣкъ ими же иногда пользуется для достиженія неразумныхъ цѣлей.

Изъ всего сказаннаго видно, что для произведенія движеній нужныхъ въ разныхъ промышленныхъ производствахъ человѣкъ употребляетъ силы, представляемыя ему природою; и для того, чтобы управлять этими силами, чтобы заставлять ихъ

производить именно тѣ перемѣщенія, которыя нужны, человекъ долженъ ставить между силою и обрабатываемымъ веществомъ, или какъ говорятъ обыкновенно между движущею силою и преодолеваемымъ сопротивленіемъ особый посредникъ, который бы надлежащимъ способомъ передавалъ и преобразовывалъ дѣйствіе силы; этотъ посредникъ и есть *машина* въ самомъ общемъ смыслѣ этого слова.

И такъ цѣль, назначеніе машины состоитъ въ томъ, чтобы при промышленномъ производствѣ служить посредникомъ между обрабатываемымъ веществомъ и силою употребляемою для его обработки; посредникъ этотъ назначается для того, чтобы измѣнить и преобразовать надлежащимъ образомъ силу, и тѣмъ самымъ сдѣлать ее способною произвести въ сыромъ матеріалѣ нужныя для человека движенія. Изъ этого уже видно, что каждая машина должна заключать въ себѣ три главные части; одна изъ нихъ должна принимать дѣйствіе силы, съ помощію которой совершается производство; это есть *пріёмникъ*; другая часть назначается для того, чтобы преобразовывать дѣйствіе силы, то есть измѣнять движеніе полученное пріёмникомъ, согласно съ цѣлію машины; это суть такъ называемые *приводы* или передаточныя части; наконецъ третья

часть машины есть *орудіе* или исполнительный механизмъ, передающій измѣненное уже надлежащимъ образомъ посредствомъ приводовъ движеніе самому обрабатываемому веществу; въ немногихъ простѣйшихъ машинахъ всѣ эти три части соединены въ одномъ тѣлѣ. Таковъ напримѣръ изображенный на



С А.

чертежѣ 1 рычагъ, съ помощію котораго можно употребляя не слишкомъ большое усиліе подымать довольно значительные

грузы. Здѣсь *пріемникъ* т. е. часть получающая дѣйствіе силы есть точка *В*, на которую человекъ давитъ рукою; исполнительный механизмъ или орудіе есть точка *А* того же рычага, которою онъ соприкасается съ поднимаемымъ грузомъ; наконецъ вся длина рычага *BC*, заключенная между точкою *С* гдѣ рычагъ опертъ на неподвижный предметъ и точкою *В* гдѣ дѣйствуетъ сила, равно какъ и длина *АС* заключенная между опорой *С* и точкою *А* поднимающею грузъ есть часть соответствующая тому, что мы назвали приводами; она служитъ къ преобразованію движенія которое производитъ движущая сила; въ чемъ же состоитъ преобразование движенія? Во первыхъ очевидно, что сила давящая на конецъ *В* подвигаетъ его къ низу, между тѣмъ какъ конецъ *А* движется къ верху; во вто-

рыхъ конецъ *A* движется гораздо медленнѣе чѣмъ конецъ *B*; если положимъ напримѣръ, что *AC* составляетъ полъ аршина а *BC* три аршина, то конецъ *A* будетъ двигаться въ шесть разъ медленнѣе чѣмъ конецъ *B*. Слѣдовательно здѣсь дѣйствиємъ этой весьма простой машины движеніе въ 6 разъ замедлено, и его направленіе измѣнено въ прямо-противоположное.

Въ приведенной нами простой, извѣстной каждому машинѣ, три главныя части машины, совпадаютъ въ одномъ твердомъ тѣлѣ, именно въ брусь или рычагъ *AB*, опертъ на неподвижный предметъ *C*; это возможно только въ томъ случаѣ, когда машина не слишкомъ значительно измѣняетъ движеніе произведенное силою; но нерѣдко случается, что нужно бываетъ измѣнить движеніе гораздо сильнѣе, иногда требуется, напримѣръ его ускорить или замедлить въ 1000, 2000, въ 20,000 разъ; иногда нужно бываетъ съ помощію одной и той же силы произвести нѣсколько различныхъ движеній; такъ напримѣръ въ мукомольнѣ одною и тою же силою приводятся въ движеніе и жерновъ производящій помоль, и приборы служащіе для перевода муки изъ одного отдѣленія мельницы въ другое, и снаряды служащіе для подъема и опусканія мѣшковъ и т. д.; въ подобныхъ

случаяхъ, конечно, невозможно устроить машину такъ просто, какъ рычагъ; приходится употреблять иногда весьма значительное число отдѣльныхъ тѣлъ, постепенно измѣняющихъ и передающихъ движеніе первоначально сообщенное силою. Форма и соединеніе этихъ составныхъ частей машинъ можетъ быть весьма разнообразно, ибо самыя цѣли достигаемыя при ихъ помощи могутъ быть весьма различны. Но подобно тому, какъ въ несмѣтномъ разнообразіи промышленныхъ производствъ, мы замѣтили одну существенную, общую всемъ имъ черту, точно также и всѣ машины несмотря на все свое разнообразіе имѣютъ одинъ общій характеръ. Чтобы теперь же показать въ чемъ онъ состоитъ, вспомнимъ, что обработка какаго бы то ни было вещества приводится къ тому, чтобы сообщить ему или его частямъ извѣстныя опредѣленныя движенія; чѣмъ лучше обработка, чѣмъ выше достоинство получаемыхъ черезъ ея посредство продуктовъ, тѣмъ опредѣленнѣе, тѣмъ точнѣе должны быть эти движенія; въ идеальной типической машинѣ, производящей *вполнѣ совершенные* продукты, — движенія эти должны быть *вполнѣ* опредѣленныя. Очевидно, что для этого и движеніе орудія должно быть также нѣкоторое совершенно опредѣленное; но эту опредѣленность дви-

женію орудія мы не иначе сообщить можемъ, какъ если устроимъ машинѣ такъ, чтобы каждая часть ея могла двигаться только однимъ совершенно извѣстнымъ, вполне определеннымъ образомъ; на самомъ дѣлѣ, если будетъ въ числѣ передаточныхъ частей хотя одна, которая подъ вліяніемъ случайныхъ усилій можетъ двигаться различно, то очевидно и орудіе можетъ имѣть различныя зависящія отъ случайностей движенія, между тѣмъ, какъ его движеніе должно быть вполне определено. Поэтому всякая машина, имѣющая какія нибудь претензіи на достоинство, на точность отдѣлки непременно должна быть устроена такъ, чтобы каждая существенная часть ея могла двигаться только однимъ способомъ, по одной совершенно определенной линіи. Если это условіе не исполнено, если какія либо существенныя части машины шатаются и могутъ двигаться по различнымъ линіямъ, то отъ такой машины нельзя ожидать сколько нибудь порядочной обработки; если жерновъ мельницы кроме вращающагося своего движенія можетъ наклоняться въ одну или въ другую сторону, то не говоря уже о томъ, что онъ самъ скоро испортится, очевидно не возможно отъ него ожидать сколько нибудь доброкачественнаго помола; если бы въ токарномъ станкѣ кусокъ обрабатываемаго

дерева могъ кромѣ вращенія около неподвижной оси имѣть еще нѣкоторыя другія произвольныя движенія, то мы, обтачивая его, вмѣсто желаемой поверхности могли бы получить такую, которой вовсе не хотѣли. Этихъ примѣровъ каждый безъ труда можетъ набрать цѣлыя тысячи.

Поэтому машина должна вообще представлять собою совокупность тѣлъ такъ соединенныхъ между собою, что каждая часть машины можетъ двигаться только по одной совершенно определенной линіи, — и притомъ такъ, что каждому определенному положенію одной части машины отвѣчаютъ совершенно определенные положенія всѣхъ другихъ частей. Изъ одного этого можно уже заключить, какія тѣла должны по преимуществу входить въ составъ машины. На самомъ дѣлѣ, если бы мы взяли систему тѣлъ, которыя при дѣйствіи на нихъ силъ измѣняютъ свою форму по нѣкоторому намъ неизвѣстному закону, то ясно, что мы не могли бы предвидѣть тѣхъ движеній, которыя они получаютъ, и слѣдовательно такія тѣла не годятся къ употребленію, когда дѣло идетъ объ устройствѣ машинъ. А потому при устройствѣ машинъ можно употреблять лишь такія тѣла, которыя при дѣйствіи на нихъ силъ измѣняютъ свою форму по нѣкоторому намъ извѣстному совершенно опреде-

ленному закону, и притомъ чѣмъ проще законъ этого измѣненія, тѣмъ пригоднѣе тѣла къ употребленію въ качествѣ составныхъ частей машинъ. Но всего проще разумѣется будетъ этотъ законъ въ томъ случаѣ, когда тѣла вовсе не измѣняютъ своей формы подъ дѣйствіемъ силъ, а потому эти тѣла по преимуществу годятся для машинъ.

По несчастію такихъ тѣлъ нѣтъ, всякое тѣло непременно измѣняетъ извѣстнымъ образомъ свою форму, когда на него дѣйствуютъ силы, но есть тѣла, которыя измѣняютъ эту форму весьма мало, почти незаметно; это суть такъ называемыя твердыя тѣла, особенно металлы, — желѣзо, чугуны; они-то и составляютъ главнымъ образомъ матеріаль, изъ котораго приготовляются части машинъ; но, впрочемъ, изъ машинъ не изгоняются вполне и другія тѣла, такъ въ весьма многихъ машинахъ мы встрѣтимъ гибкія тѣла: ремни, веревки и цѣпи; въ нѣкоторыхъ даже встрѣтимъ воду, но во всѣхъ этихъ машинахъ и вода и гибкія тѣла поставлены въ такія обстоятельства, что они при движеніи машины измѣняютъ свою форму извѣстнымъ совершенно определеннымъ образомъ. Поэтому если хотимъ дать полное опредѣленіе машинъ, то должны будемъ сказать, что машина есть система тѣлъ такъ связанныхъ между собою, что каждая су-

щественно важная для цѣли машины часть ея можетъ двигаться только по одной совершенно определенной линіи и притомъ движеніе одной части опредѣляетъ собою движеніе остальныхъ. Система эта имѣетъ своимъ назначеніемъ передавать и вмѣстѣ съ тѣмъ преобразовывать дѣйствіе силъ, т. е. движеніе, которое эти силы сообщаютъ пріемнику машины.

Но какъ же машина можетъ преобразовывать дѣйствіе силы; что за таинственное свойство преобразовывать дѣйствіе силъ, находится въ этой неодушевленной массѣ валовъ, колесъ, винтовъ, рычаговъ, ремней и т. д.? Дѣйствіе силы можетъ быть измѣнено только дѣйствіемъ другой силы; откуда-же являються въ машинѣ эти другія силы, съ помощію которыхъ измѣняется дѣйствіе данныхъ силъ? Чтобы рѣшить этотъ вопросъ, замѣтимъ съ самаго начала, что если бы части машины были разъединены между собою, если бы каждая малѣйшая частица дерева, чугуна, желѣза и т. д. входящая въ составъ машины была отдѣльна и могла двигаться куда угодно независимо отъ прочихъ, то преобразование силы посредствомъ машины стало бы невозможно;—слѣдовательно преобразование силъ посредствомъ машинъ возможно лишь вслѣдствіе связи между ихъ частями, и

потому усилія, которыя соединяясь съ внѣшними дѣйствующими на машину силами преобразуютъ ихъ, суть тѣ же силы, которыя производятъ связь между частями тѣлъ, и отдельными тѣлами, въ составъ машины входящими.

Чтобы понять, какимъ образомъ эти усилія, производящія связь между частями машины, преобразуютъ дѣйствию внѣшнихъ силъ, нужно знать хотя нѣкоторые законы ихъ дѣйствія; это познаніе разумется можетъ быть почерпнуто только изъ опыта: мы впоследствии укажемъ на тѣ факты, которые донынѣ приобрѣтены наукой въ этомъ отношеніи; теперь же займемся разборомъ нѣкоторыхъ отдельныхъ машинъ, чтобы показать на самомъ дѣлѣ на частныхъ примѣрахъ употребительнѣйшіе и важнѣйшіе способы преобразованія дѣйствія силъ въ машинахъ.— Мы уже упоминали объ одной изъ нихъ, рычагъ, (черт. 1) посредствомъ котораго движеніе сообщенное одной точкѣ рычага измѣняется въ противоположное движеніе другой точки, и при этомъ въ шесть разъ замедляется.

Теперь мы займемся разсмотрѣніемъ нѣкоторыхъ другихъ употребительнѣйшихъ машинъ, въ слѣдующемъ порядкѣ.— Сначала мы разсмотримъ отдельно механизмы составляющіе сущность каждой паровой машины и объяснивъ физическіе факты, на ко-

торыхъ основано употребленіе пара въ качествѣ двигателя, покажемъ устройство паровой машины. За этимъ мы перейдемъ къ другимъ силамъ природы, употребляемымъ промышленностію и объяснивъ способъ ихъ дѣйствія и устройство служащихъ для нихъ пріемниковъ, покажемъ въ видѣ послѣдняго примѣра устройство часовъ.—Къ этимъ примѣрамъ мы будемъ прилагать лишь тѣ механическія понятія, которыя существуютъ въ головѣ каждаго;—онѣ разъясняются сами собою на этихъ частныхъ примѣрахъ, и тогда строгое научное ихъ определеніе станетъ вполне понятно для каждаго.

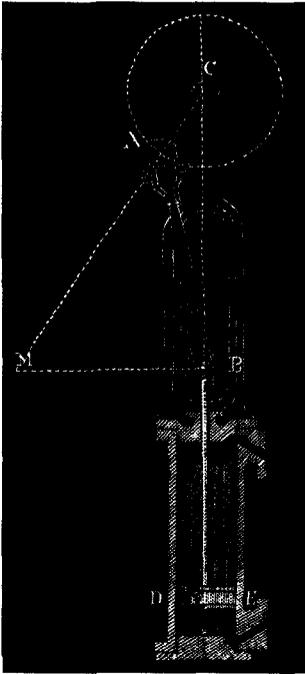
---

## ЛЕКЦІЯ II.

**Кривошипъ. Круглый эксцентрикъ. Ихъ соединеніе въ паровой машинѣ.**

Представимъ себѣ, что мы какимъ ни есть образомъ имѣемъ возможность привести въ обращеніе около неподвижной оси извѣстный валъ, н. п. м. валъ ворота, который служитъ для подъема воды изъ колодцевъ, и положимъ, что для того производства, которое мы имѣемъ въ виду нужно, чтобы орудіе имѣло не круговое движеніе, которое имѣютъ всѣ точки ворота, а прямолинейное, и притомъ требуется, чтобы въ то время, какъ валъ вращается постоянно въ одну и ту же сторону, орудіе двигалось попеременно то вверхъ то внизъ, совершая каждый разъ одинъ и тотъ же совершенно опредѣленный размахъ; положимъ на примѣръ, что мы приводимъ въ движеніе посредствомъ ворота на-

сосъ, накачивающій воду. Какъ известно насосъ есть пустая трубка, въ которую плотно вдвигается подвижная стѣнка, называемая поршнемъ. Она имѣетъ попеременно движеніе то внизъ то вверхъ; намъ здѣсь нѣтъ дѣла дотого, какъ дѣйствуетъ этотъ поршень на воду; для насъ важно только то, что для производства нашей работы, — для подъема воды, нужно поршню, сообщить попеременное движеніе внизъ и вверхъ; при томъ смотря потому, сколько мы хотимъ накачать воды въ одинъ размахъ поршня, нужно очевидно этотъ размахъ сдѣлать больше или меньше, положимъ на примѣръ мы хотимъ, чтобы поршень опускался и поднимался въ теченіе одного размаха на 16 дюймовъ; чтобы произвести этотъ попеременный подъемъ и спускъ поршня намъ нужно какъ нибудь соединить его съ вращающимся валомъ; употребляемая для этого средства могутъ быть весьма различны; одно изъ простѣйшихъ и употребительнѣйшихъ состоитъ въ томъ, чтобы придѣлать къ подвижной стѣнкѣ или поршню *DE* (черт. 2) твердый брусъ *FB* именуемый стержнемъ или штокомъ, расположить его такъ, чтобы его продолженіе встрѣчало ось вала, и на другомъ концѣ этого бруса продѣлать круглое отверстіе, котораго ось шла бы по тому же направленію, какъ и ось вала; за тѣмъ приставить къ это-

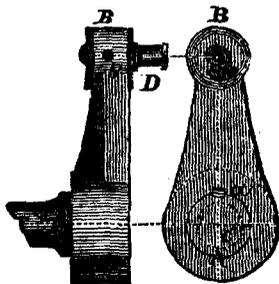


Черт. 2.

му отверстию вилко-образный конец другого бруса *ВА*, котораго назначеніе мы тотчас увидимъ; на обѣихъ вѣтвяхъ вилки, которою оканчивается этотъ брусъ продѣланы тоже два отверстія совершенно одинаковой ширины съ отверстиемъ въ головкѣ стержня; если, поставивъ совершенно вѣрно ось противъ оси эти три отверстія, мы продѣнемъ сквозь нихъ круглый брусокъ, который за тѣмъ гайками или чеками утвердимъ такъ, что онъ не можетъ выскочить изъ этихъ отверстій, то очевидно получимъ такое соединеніе двухъ брусевъ, при которомъ каждый изъ нихъ можетъ вращаться около общей оси всѣхъ трехъ отверстій; такъ соединены между собою напримѣръ ножки циркуля; это соединеніе называется шарнеромъ; иногда этотъ шарнеръ дѣлается проще; именно одна вѣтвь вилки можетъ быть отброшена; тогда мы получимъ соединеніе, которое будемъ называть простымъ шарнеромъ, между тѣмъ какъ только что описанному будемъ придавать названіе двойнаго шарнера; этотъ

шарнеръ можетъ быть и тройной и четверной и т. д. смотря потому сколько вѣтвей будетъ въ той вилкѣ, на которой ихъ больше.—Простой шарнеръ можно устроить для бѣльшей легкости въ отдѣлкѣ такимъ образомъ, чтобы не продѣлывать отверстія въ одномъ изъ брусевъ, а укрѣпить на немъ не подвижно гладко обточенную ось, около которой должны обращаться оба соединяемые бруса,—и затѣмъ на эту неподвижно соединенную съ однимъ брусомъ ось надѣть отверстіе другаго бруса.

Очевидно, что при такомъ шарнерномъ соединеніи брусъ, который мы надѣли на одну ось со стержнемъ можетъ относительно этого стержня принимать различныя положенія; сдѣлаемъ этотъ брусъ длиною въ 40, а если можно, то и больше н. п. м. въ 56 или 60 дюймовъ, и другой его конецъ соединимъ посредствомъ простаго шарнера съ кольномъ *АС* посаженнымъ на конецъ вращающагося вала; это кольцо изображено отдѣльно на черт. 3, въ ко-



Черт. 3.

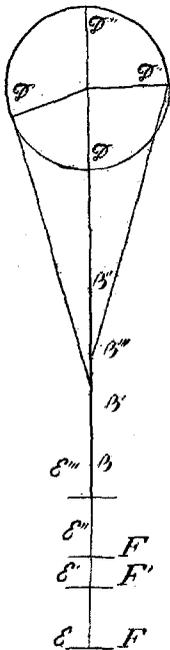
торомъ *D* означаетъ ось шарнера соединяющаго кольцо *АС* съ брусомъ *ВА*. Разстояніе *DC* этой оси отъ центра *C* вала мы возьмемъ въ 8 дюймовъ, т. е. въ половину меньше противъ

длины размаха, который долженъ дѣлать нашъ

поршень. — Это кольцо называется обыкновенно *кривошипомъ* или *мотылемъ*, — брусъ же который соединяетъ мотыль со стержнемъ поршня называется *шатунномъ*, или иногда *ногою*.

Въ Черт. 3 видна еще шпонка или стальной брусокъ *a*, забитый въ соответствующіе другъ другу пазы или четырехугольныя углубленія сдѣланныя въ проймѣ, которою кривошипъ надвѣвается на валъ и въ самомъ валѣ.

Посмотримъ теперь какимъ образомъ посредствомъ этого соединенія преобразуется вращательное



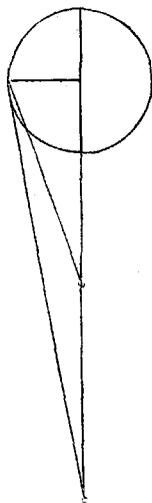
Черт. 4.

движеніе вала, совершающееся постоянно въ одну и ту же сторону въ поперемянное движеніе поршня то вверхъ, то внизъ. — Для этого пусть *C* (черт. 4) будетъ ось вращающагося вала; пусть *CD* изображаетъ положеніе кривошипа; *D* его шарнирную ось, которую онъ соединенъ съ шатуномъ *DB*; *B* пусть будетъ шарнирная ось, которую шатунъ соединяется со стержнемъ *BF* поршня и пусть *E* будетъ самый поршень. При изображенномъ на чертежъ положеніи всѣхъ частей стержень *BF* и поршень занимаетъ самое нижнее свое положеніе;

начнемъ вращать нашъ валъ такъ чтобы точка  $D$  пошла въ лѣвую сторону; шарнирное соединеніе мотыля перейдетъ въ  $D'$  увлечетъ за собою шатунъ, который приметъ косвенное положеніе  $D' B'$  и если стержень заключенъ между правилками не позволяющими ему вращаться, но только приближаться и удаляться отъ оси вала, то очевидно онъ долженъ при новомъ положеніи кривошипа стоять къ этой оси ближе, чѣмъ при прежнемъ; онъ дѣйствительно и станетъ къ нему ближе на линію  $BB'$ ; этотъ подъемъ стержня и вмѣстѣ съ тѣмъ поршня будетъ продолжаться до тѣхъ поръ, пока точка  $D$  шатуна при своемъ вращательномъ движеніи будетъ въ тоже время подыматься; онъ прекратится, когда эта точка придетъ въ свое самое верхнее положеніе  $D'$  т. е. когда кривошипъ, шатунъ и стержень расположатся опять по одной прямой линіи; тогда головка стержня займетъ положеніе  $B'$ , а поршень положеніе  $E'$ ; это новое расположеніе будетъ отличаться отъ перваго только тѣмъ, что шатунъ закроетъ собою кривошипъ; при дальнѣйшемъ вращеніи вала въ ту же сторону, точка  $D$  начнетъ опускаться; ея спускъ, будетъ продолжаться все далѣе и далѣе до тѣхъ поръ пока при постепенномъ своемъ вращеніи она не займетъ опять своего прежняго положенія; затѣмъ начнется снова

подъемъ стержня и поршня до тѣхъ поръ, пока точка *D* не придетъ въ свое самое верхнее положеніе; такимъ образомъ при каждомъ оборотѣ вала поршень будетъ совершать свое полное качаніе или полный размахъ къверху и кънизу; легко убѣдиться, что онъ совершаетъ при данныхъ условіяхъ именно требуемый размахъ, т. е. дѣйствительно разстояніе между крайнимъ верхнимъ и крайнимъ нижнимъ положеніемъ поршня составляетъ 16 дюймовъ, какъ мы того требовали; на самомъ дѣлѣ ясно что въ первые полъоборота вала головка стержня *B* и поршень *E* поднимаются на столько же на сколько поднимается цапфа *D* кривошипа, но какъ она очевидно поднимается на двойную длину кривошипа, т. е. на  $2 \times 8$  дюймовъ; то и поршень поднимается въ первую половину оборота тоже на  $2 \times 8$  или на 16 д.;—во вторые полъоборота онъ на столькоже опускается и т. д; вообще не трудно изъ этого видѣть, что размахъ поршня nebudeтъ зависеть ни отъ длины шатуна, ни отъ длины стержня, а только отъ длины кривошипа, и что размахъ поршня всегда безъ исключенія вдвое больше длины кривошипа; слѣдовательно казалось бы на первый взглядъ можно длину стержня и длину шатуна взять совершенно по произволу; но взглянувъ нѣсколько пристальнѣе въ предметъ, мы увидимъ что

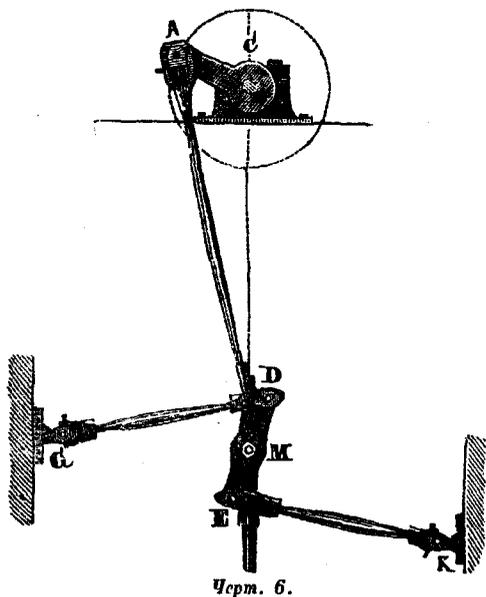
объ эти длины подчинены нѣкоторымъ условіямъ; поршень ходитъ большею частію въ пустомъ цилиндрѣ или въ трубѣ закрытой съ обѣихъ сторонъ крышками; въ верхней крышкѣ продѣлано отверстіе, черезъ которое проходитъ стержень. Головка стержня соединеннаго съ шатуномъ никогда не должна входить во внутрь этого отверстія, а для этого стержень долженъ имѣть непременно длину бѣльшую чѣмъ величина размаха поршня; шатунъ же, какъ мы уже замѣтили стараются сдѣлать по возможности длиннымъ, и не трудно понять одну изъ причинъ, по которымъ это дѣлаютъ. Вообразимъ себѣ два



Черт. 5.

кривошипныя соединенія при одной и тойже длинѣ кривошипа; положимъ въ первомъ длина шатуна втрое а во второмъ въ шестеро бѣлье длины кривошипа; ясно что оба они будутъ наиболее отклонены отъ направленія стержня тогда, когда кривошипъ будетъ занимать горизонтальное положеніе, и ясно, что длинный шатунъ будетъ меньше, а короткій будетъ бѣлье отклоняться отъ этого направленія; но будучи отклоненъ отъ направленія стержня шатунъ, когда подымается, тянетъ, а когда опускается, давитъ головку стержня въ бокъ,

слѣдовательно изгибаетъ извѣстнымъ образомъ самый стержень, и притомъ тѣмъ болѣе чѣмъ болѣе онъ отклоненъ отъ его направленія; слѣдовательно короткій шатунъ производитъ въ стержнѣ сильнѣйшій изгибъ, чѣмъ шатунъ длинный. Чтобы воспрепятствовать изгибу стержня, его головку за-ключаютъ обыкновенно между особыми прорѣзами, какъ на черт. 2, которые и направляютъ ея дви-женіе, или соединяютъ эту головку *M* (см. черт. 6)



въ серединѣ съ осо-бымъ брускомъ *DE* могущимъ вращать-ся около оси шар-нера соединяющаго шатунъ *AM* со стержнемъ *MB*; концы *D* и *E* этого бруса соединяютъ тоже на шарнерахъ съ такъ называемыми тяга-ми *GD* и *KE* т. е.

особыми брусками, которые могутъ вращаться око-ло неподвижныхъ осей проходящихъ черезъ ихъ концы *G* и *K*. Длина этихъ тягъ, положеніе осей около ко-торыхъ они обращаются, длина самага направляю-щаго движеніе бруса должны быть разсчитаны

такъ, чтобы головка по возможности мало отклонялась при своемъ движеніи отъ направленія стержня. Изложеніе правилъ служащихъ для этой цѣли отвлекло бы насъ слишкомъ далеко отъ того предмета, который мы собственно имѣемъ въ виду.

Соединеніе кривошипа съ шатуномъ есть одинъ изъ лучшихъ способовъ, которые досель существуютъ въ промышленности для того, чтобы вращательное движеніе вала около оси измѣнить въ поперемянное движеніе по прямой линіи взадъ и впередъ. Замѣтимъ, что тоже самое соединеніе можетъ служить и для того, чтобы обратно поперемянное движеніе взадъ и впередъ преобразовать въ вращательное движеніе вала; на самомъ дѣлѣ если бы мы представили себѣ, что стержень, который прежде двигался отъ того, что его увлекалъ валъ въ своемъ движеніи, теперь подвигается вверхъ и внизъ дѣйствіемъ какой ни есть другой силы, тогда очевидно, что онъ будетъ попеременно то толкать цапфу кривошипа къ верху, то тянуть её къ низу; такимъ образомъ наприкладъ, еслибы на поршень давить какою нибудь силою сверху внизъ въ ту пору, какъ кривошипъ занимаетъ положеніе *AB*, то поршень, двигаясь къ низу при посредствѣ шатуна увлекъ бы за собою также и кривошипъ, а тѣмъ привелъ бы валъ

въ обращеніе. Дѣйствіе этого прибора вполне понятно, пока кривошипъ и шатунъ не придуть въ тоже направленіе, какъ и самъ стержень. При этомъ положеніи очевидно, если валъ будетъ стоять, то какое бы давленіе ни производилось на поршень снизу или сверху всё равно, всё это давленіе будетъ стремиться только сломать стержень, или шатунъ, или кривошипъ, или оси, которыми онъ соединяются; привести же валъ въ движеніе съ помощію этого давленія рѣшительно невозможно. Поэтому двѣ противоположныя точки, въ нашемъ случаѣ верхняя и нижняя, въ которыхъ направленія шатуна и кривошипа совпадаютъ между собою и съ направленіемъ стержня, называются обыкновенно *мертвыми* точками. — Мы видѣли, что если весь приборъ стоитъ на одной изъ мертвыхъ точекъ, то ни какими силами давящими на поршень невозможно привести его въ движеніе; следовательно необходимо, чтобы валъ былъ устроенъ такъ, что онъ самъ собою выходитъ изъ мертвыхъ точекъ, не смотря на то, что на него не дѣйствуютъ ни какія силы. Для этой цѣли можно воспользоваться извѣстнымъ всемъ явленіемъ, что тѣло, которое одинъ разъ пущено въ движеніе, не останавливается сразу само собою, но продолжаетъ двигаться и остановить его тѣмъ труднѣе,

чѣмъ больше его вѣсъ и чѣмъ скорѣе оно движется.—Слѣдовательно если мы соединимъ съ нашимъ валомъ довольно тяжелое тѣло, котораго части двигались бы очень скоро даже при умеренной быстротѣ обращенія вала, то это тѣло увлечетъ за собою валъ и выведетъ его изъ того положенія, которое отвѣчаетъ мертвымъ точкамъ. Это тяжелое и имѣющее значительную скорость тѣло присоединяется къ валу обыкновенно въ видѣ весьма значительной высоты колеса, частицы котораго составляющія ободъ движутся весьма быстро даже тогда, когда валъ совершаетъ очень небольшое число оборотовъ въ минуту; на примѣръ если валъ дѣлаетъ только 20 оборотовъ въ минуту, что очень мало, но если сидящее на немъ маховое колесо будетъ имѣть 4 сажени высоты, то каждая точка обода будетъ пробѣгать каждую минуту около 250 сажень, слѣдовательно полверсты, а потому движась съ такою быстротою частицы этого колеса называемаго обыкновенно маховымъ, увлекутъ за собою валъ изъ мертвыхъ точекъ, и приведутъ слѣдовательно кривошипъ въ косвенное положеніе относительно шатуна и стержня поршня.—Тогда сила давящая на поршень снизу вверхъ получитъ свое дѣйствіе, и толкая кривошипъ къ верху, доведетъ снова валъ до дру-

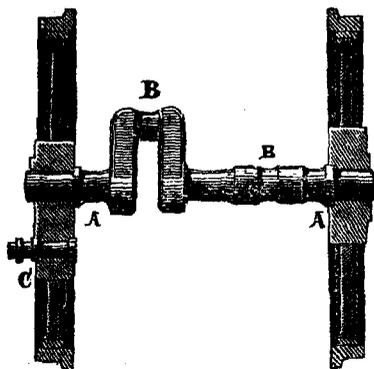
гой мертвой точки, изъ которой онъ выйдетъ опять дѣйствиємъ маховаго колеса, и если направленіе силы переменится, то она потянетъ кривошипъ къ низу и снова заставитъ валъ вращаться; это преобразование движенія встрѣчается во всѣхъ такъ называемыхъ паровыхъ машинахъ прямаго дѣйствія.— Одно изъ главныхъ достоинствъ описаннаго нами прибора для измѣненія вращательнаго движенія, идущаго постоянно въ одну сторону, въ попеременное движеніе внизъ и вверхъ состоитъ въ томъ, что движеніе поршня довольно быстрое въ серединѣ размаха, по мѣрѣ приближенія къ мертвой точкѣ становится все медленнѣе и медленнѣе, постепенно замираетъ такъ сказать, и наконецъ въ самой мертвой точкѣ, т. е. передъ измѣненіемъ направленія совершенно уничтожается, — въ слѣдствіе чего ходъ поршня совершается весьма плавно и ровно безъ всякихъ толчковъ и ударовъ. Чтобы яснѣе представить себѣ это свойство кривошипнаго соединенія, вообразимъ, что кругъ представленный на чертежѣ 7 изображаетъ путь цапфы кривошипа; пусть  $a, b, c, d$  четыре его положенія, изъ коихъ  $a$  и  $b$  лежатъ около средней точки, а  $c$  и  $d$  около мертвой, и притомъ пусть разстояніе  $ab$  равно разстоянію  $cd$ ; найдемъ соответствующія положенія головки стержня; для этого проведемъ



головкой стержня оставался неподвижнымъ; следовательно этотъ конецъ и останется почти неподвижнымъ, между тѣмъ какъ въ ту пору, когда цапфа кривошипа идетъ по  $ab$ , то движеніе конца шатуна съ нею соединеннаго весьма сильно отклонено отъ направленія  $af$ , по которому бы долженъ онъ двигаться, чтобы головка стержня оставалась неподвижною въ точкѣ  $A$ ; поэтому и движеніе этой головки, когда кривошипъ находится около точки  $a$  будетъ довольно быстрое.

Одно изъ неудобствъ кривошипа состоитъ въ томъ, что онъ непременно долженъ быть посаженъ на концѣ вала; если его посадить въ серединѣ, то продолженіе самаго вала представитъ преграду движенію шатуна, которому невозможно будетъ перейти съ одной стороны вала на другую. Поэтому въ подобныхъ случаяхъ дѣлаютъ валъ колышчатый; чтобы понять это устройство вообразимъ, что изъ вала вырезана въ томъ мѣстѣ, гдѣ должно поставить кривошипъ часть такой длины, чтобы между смотрящими другъ на друга концами вала свободно могъ помѣститься шатунъ; если на оба обрѣзанные конца поставимъ по кривошипу, и сдѣлавъ у нихъ общую параллельную оси цапфу, надѣнемъ на нее шатунъ, то понятнымъ образомъ весь этотъ приборъ будетъ дѣй-

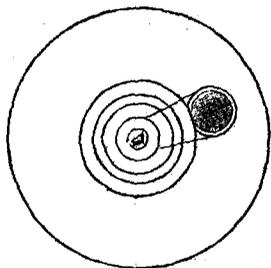
ствовать точно также, какъ валъ соединенный съ шатуномъ посредствомъ обыкновеннаго кривошипа;



Черт. 8.

иногда валъ вмѣстѣ съ сидящимъ на немъ кольномъ отковываютъ прямо, а не разрѣзываютъ его. Но надлежащая отковка кольчатаго вала весьма затруднительна, и потому такимъ валамъ вообще мѣньше можно довѣрять чѣмъ прямымъ;

поэтому въ нѣкоторыхъ случаяхъ, когда требуется передать небольшую работу, то вмѣсто вала употребляютъ такъ называемый эксцентрикъ. Чтобы понять его устройство, вообразимъ простой кривошипъ посаженный на валъ какъ на прилагаемомъ чертежѣ;



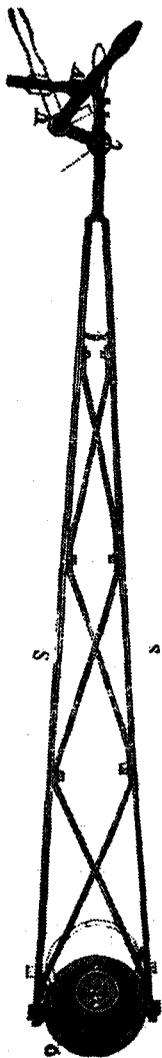
Черт. 9.

пусть *A* будетъ его цапфа. Если мы сдѣлаемъ эту цапфу шире, оставивъ тоже разстояніе отъ центра вала до центра цапфы, то понятно, что передача движенія посредствомъ этого новаго кривошипа будетъ совер-

шаться точно также, какъ и посредствомъ прежняго; вся разница будетъ только въ томъ, что дѣйствіе тренія станетъ нѣсколько сильнѣе. За-

мътъте, что мы говоримъ дѣйствіе тренія, а не самое треніе; треніе останется тоже, только точка соприкосновенія цапфы съ очкомъ шатуна будетъ теперъ проходить бѣольшую окружность чѣмъ прежде. Чтобы яснѣе это себѣ представить возьмемъ санки нагруженныя извѣстною тяжестью; треніе, которое оказывается при ихъ движеніи, въ каждомъ мѣстѣ, которое они занимаютъ, будетъ одно и тоже, но дѣйствіе этого тренія будетъ сильнѣе, для его преодоленія мы бѣольше должны работать, когда тащимъ санки на разстояніи двухъ верстъ, нежели тогда когда тащимъ ихъ на разстояніи одной версты.—Замѣтивъ это станемъ опять расширять цапфу нашего кривошипа и соответственно ей, надѣваемое на нее очко шатуна; этимъ мы будемъ опять увеличивать вредное дѣйствіе тренія, но передача движенія этимъ нарушаться не будетъ, она останется таже, какъ и прежде; наконецъ мы можемъ расширить цапфу до того, что весь валъ будетъ лежать внутри ея и слѣдовательно очко шатуна обойметъ собою валъ; тогда цапфа обратится въ колесо, въ которомъ прорѣжется кружокъ для прохода вала; если это колесо укрѣпимъ на валъ точно такъ, какъ укрѣпляли кривошипъ, то очевидно валъ уже не представитъ сопротивленія движенію шатуна:

ибо весь валъ будетъ, какъ сказано, лежать внутри очка шатуна, которое уже обращается въ цѣлый хомутъ надѣтый на нашу расширенную цаффу; это расширенная цаффа и получаетъ названіе экс-



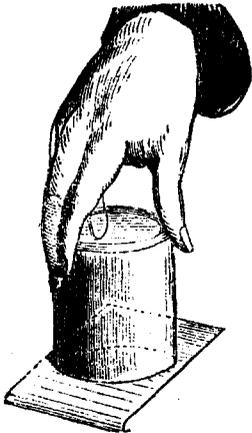
сцентрика; эксцентрикъ весьма неудобенъ для передачи значительныхъ усилій; ибо, какъ замѣчено, вредное дѣйствіе тренія при употребленіи этого прибора чрезвычайно сильно, но онъ чрезвычайно хорошъ для передачи небольшихъ усилій, при которыхъ возбуждается довольно слабое треніе.— Этотъ приборъ обыкновенно употребляется въ паровыхъ машинахъ для передачи движенія отъ вала золотнику или коробкѣ, служащему для надлежащаго распредѣленія пара въ цилиндрѣ.

Чтобы показать употребленіе описанныхъ механизмовъ, разсмотримъ простѣйшую изъ паровыхъ машинъ, именно паровую машину, высокаго давленія безъ охлажденія пара.

Чтобы понять ея дѣйствіе, замѣтимъ съ самаго начала, что если возьмемъ небольшую площадь въ одинъ □

Черт. 10.

дюймъ, то весь столба атмосферы или весь воздуха, стоящаго надъ этою площадью составляетъ среднимъ числомъ, около  $16\frac{1}{4}$  русскихъ фунтовъ; это число и составляетъ среднее нормальное давленіе атмосферы; если возьмемъ площадь въ 2 □ дюйма, то давленіе на нее атмосферы будетъ понятнымъ образомъ 2 раза  $16\frac{1}{4}$  или  $32\frac{1}{2}$



Черт. 11.

фунта и т. д. Замѣтимъ, что это давленіе во всю сторону распространяется одинаково, какъ это легко доказывается известнымъ опытомъ съ стаканомъ воды, который если наполнить до краевъ водою и закрыть бумажкою такъ, чтобы воздуху въ стаканъ не оставалось нисколько, то вода изъ стакана не польется, какъ бы мы этотъ стаканъ ни переворачивали; опытъ этотъ удастся всегда, пока весь воды стоящей надъ каждымъ □ дюймою площади бумажки не съдѣлается равнымъ  $16\frac{1}{4}$  фунтамъ, или пока высота воды въ нашемъ стаканъ не станетъ около 34 футъ (разсчетъ здѣсь основанъ на томъ что тысяча кубическихъ дюймовъ воды всѣтъ пудъ, или 40 фунтовъ; для полученія 20 фунтовъ нужно взять следовательно 500 куб. дюймовъ воды, да на 4 фун-

та придется 100 куб. дюймовъ; следовательно на 16 фунтовъ 400 куб. дюймовъ воды; такъ что столбъ воды имѣющей основаніемъ одинъ  $\square$  дюймъ и высоту равную 400 дюймамъ или 33 футамъ 4 дюймамъ вѣситъ 16 фунтовъ, т. е. еще меньше, чѣмъ давленіе воздуха), что и показываетъ, что вода не польется изъ стакана, обращеннаго отверстіемъ къ низу до тѣхъ поръ, пока вѣсъ воды не превозможетъ давленія атмосферы, которое дѣйствуетъ следовательно снизу вверхъ точно также, какъ сверху внизъ; легко также помощію тѣхъ же опытовъ убѣдиться, что давленіе воздуха остается постоянно равно  $16\frac{1}{4}$  фунтамъ на  $\square$  дюймъ площади даже и тогда, когда площадь, на которую онъ давитъ находится въ наклонномъ положеніи.

Такимъ образомъ, давленіе атмосферы на какую угодно площадь можетъ быть выражено вѣсомъ столба воды опирающагося на эту площадь и имѣющаго высоту въ 34 фута. Очевидно, что столбъ ртути, который въ состояніи пересилить атмосферное давленіе будетъ въ  $13\frac{1}{2}$  разъ ниже столба воды, нужнаго для этой цѣли т. е. составитъ собою 30 дюймовъ. Это имѣетъ свое основаніе въ томъ, что ртуть въ  $13\frac{1}{2}$  разъ тяжеле воды.

Чтобы измѣрять атмосферное давленіе, можно бы было употреблять то самое явленіе, о кото-

ромъ мы только что говорили; нужно бы было наготовить нѣсколько стакановъ, изъ которыхъ одни имѣють немножко больше, а другіе немножко меньше 34 футовъ высоты, наполнить ихъ водою, и закрывъ бумажками опрокидывать; если при этомъ найдемъ, что вода остается въ стаканахъ имѣющихъ высоту меньше 33 футъ 5 дюймовъ 4 линій, и выливается изъ всѣхъ сосудовъ большихъ 33 футъ 5 дюймовъ 4 линій, то мы заключимъ, что давленіе атмосферы равно вѣсу столба воды имѣющаго высоту въ 33 ф. 5 д. 4 л.

Подобное измѣреніе было бы крайне неудобно; чтобы его облегчить, устроенъ вѣсѣмъ извѣстный приборъ, именуемый барометромъ; его приготовляютъ наполняя запаянную съ одного конца длинную трубку, около 36 дюймовъ вышиною, ртутью; затѣмъ закрывъ её пальцемъ переворачиваютъ и опускаютъ въ сосудъ, заключающій въ себѣ ртуть; пока палецъ не отнять, ртуть не польется изъ трубки; если же отнять палецъ, то она отчасти выльется изъ трубки, но не вся; надъ уровнемъ воды останется столбъ ртути, котораго вѣсъ равенъ атмосферному давленію на площадь равную отверстію трубки; это понятно само собою. Известно каждому, что если налить какую ни есть жидкость въ сосудъ, то ея поверхность будетъ

горизонтальна; если же давить пальцемъ въ одномъ мѣстѣ на эту поверхность, то она понизится въ томъ мѣстѣ, гдѣ мы давимъ пальцемъ; если же положимъ на всю поверхность жидкости пластину, и станемъ всюду равно надавливать ее, то поверхность останется горизонтальною, такъ что для того, чтобы въ сосудѣ жидкость имѣла горизонтальную поверхность нужно, чтобы давленія на нее производимыя во всѣхъ точкахъ были равны между собою.

Возьмемъ же въ нашей чашкѣ горизонтальную поверхность ртути и мысленно продолжимъ ее черезъ трубку. На всѣ части этой поверхности производитъ атмосфера свое давленіе, кромѣ только маленькой площадки, равной отверстію трубки; слѣдовательно на эту площадку, чтобы частицы ртути ее составляющія не пришли въ движеніе, должно быть производимо чѣмъ нибудь давленіе равное атмосферному; слѣдовательно надъ этою площадкою долженъ остаться столбъ ртути, весь котораго равенъ атмосферному давленію на площадь отверстія; онъ и останется. Высотою этого столба мы можемъ слѣдовательно измѣрять давленіе атмосферы. Такимъ образомъ, мы посредствомъ трубки погруженной въ чашку, безъ малѣйшаго труда можемъ измѣрять давленія атмо-

сферы. Приборъ, который такимъ образомъ получится, называется барометромъ. (Черт. 12).

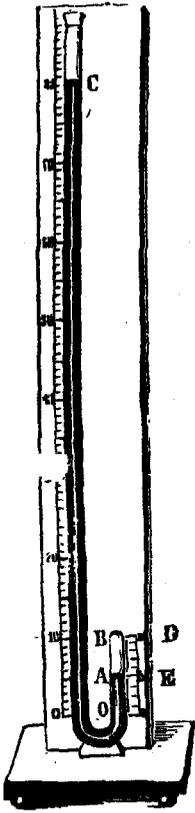


Черт. 12.

Основанный на томъ же началъ приборъ можетъ быть употребленъ и для измѣренія болѣе сильныхъ давленій; положимъ, мы хотимъ напримѣръ узнать, остается-ли давленіе воздуха тоже самое, когда его сжимаютъ, или измѣняется. Для этой цѣли возьмемъ изогнутую трубку, короткій конецъ которой будетъ запаянъ, но можетъ быть посредствомъ крана соединяемъ съ атмосферой. Если открывши кранъ нальемъ черезъ длинный конецъ ртути, то она расположится въ обоихъ рукавахъ ртути на одномъ и томъ же уровнѣ потому, что съ обѣихъ сторонъ производится давленіе, равное вѣсу атмосфернаго столба; закроемъ теперь кранъ, и станемъ въ открытій конецъ приливать ртути, мы увидимъ, что уровень ея въ обоихъ рукавахъ будетъ возвышаться, но въ открытомъ будетъ возвышаться сильнѣе; наконецъ, если смѣримъ разность уровней, когда объемъ воздуха въ короткой трубкѣ уменьшится вдвое, то найдемъ, что разстояніе уровней въ закрытомъ и открытомъ рукавѣ совершенно равно атмосферному давленію, изъ чего не трудно заключить, что воз-

духъ сжатый вдвое, производитъ давленіе вдвое

большее; на самомъ дѣль продолжимъ мысленно уровень ртути въ короткомъ плечѣ черезъ длинное, и замѣтимъ, что такъ какъ частицы ртути принадлежащія этимъ площадямъ, находясь въ одной горизонтальной плоскости, остаются въ покоѣ, то давленія производимыя на нихъ въ обоихъ рукавахъ трубки будутъ между собою равны. Но на площадку длиннаго рукава, лежащую на томъ же уровнѣ, какъ поверхность ртути въ короткомъ рукавѣ, опирается во первыхъ весь столбъ воздуха стоящій надъ нею, во вторыхъ столбъ ртути производящій давленіе равное атмосферному. Слѣдовательно давленіе на эту площадку вдвое больше атмосфернаго, а слѣдовательно и давленіе воздуха сжатаго вдвое, тоже вдвое больше атмосфернаго; если бы мы сжали воздухъ втрое противъ атмосфернаго, то увидѣли бы, что давленіе до такой степени сжатаго воздуха сдѣлалось втрое больше и т. д.



Черт. 13.

Возьмемъ теперь котелъ съ водою, закроемъ его совершенно плотно, оставивъ въ крышкѣ три

небольшихъ отверстія, черезъ два изъ нихъ продвнемъ по термометру, изъ которыхъ одинъ не достигалъ бы уровня воды, а другой погружался бы въ воду; къ третьему отверстию приставимъ трубку, которую можно бы было сообщить съ короткимъ плечомъ только что описаннаго прибора, въ которомъ для бѣльшей простоты вообразимъ, что воздуху вовсе нѣтъ, а всё оно наполнено ртутью, и покаместъ не будемъ еще соединять трубки съ этимъ приборомъ. Подложимъ подъ котелъ огня и станемъ его нагрѣвать; вода закипитъ; паръ, который отъ нея отдѣляется, будетъ выходить черезъ трубку, и охлаждаясь при смѣшеніи съ воздухомъ изъ прозрачнаго сдѣлается мутнымъ, бѣлымъ. Это произойдетъ отъ того, что отчасти паръ обратится въ воду, и эта — то примѣсь мелкихъ капель воды къ пару и сдѣлаетъ его непрозрачнымъ. Будемъ продолжать кипятить воду; если въ тоже время будемъ замѣчать стояніе ртути въ термометрахъ, то увидимъ, что какъ бы долго мы ни продолжали кипяченіе, какой бы сильный огонь ни подкладывали, ртуть въ обоихъ будетъ стоять на 80 градусахъ. Соединимъ затѣмъ съ нашимъ приборомъ трубку, и будемъ удерживать, уменьшая или увеличивая топку, оба термометра на 80 град., мы увидимъ, что ртуть въ обѣихъ кольнахъ бу-

детъ стоять на одномъ и томъ же уровнѣ. А какъ въ открытомъ колѣнѣ, на поверхность ртути давить столбъ атмосферы, а въ закрытомъ водяной парь, имѣющій температуру 80 град., то изъ этого слѣдуетъ, что водяной парь при температурѣ 80 град. имѣетъ тоже давленіе, какое производитъ атмосфера, т. е. это давленіе на каждый  $\square$  дюймъ составляетъ  $16\frac{1}{4}$  фунтовъ. Усилимъ топку; мы тотчасъ замѣтимъ повышеніе обоихъ термометровъ на одно и тоже число градусовъ, положимъ на 10, такъ что оба термометра показываютъ 90 градусовъ, и въ тоже время уровень ртути въ короткомъ рукавѣ понизится, а въ длинномъ повысится. Прильемъ въ этотъ длинный рукавъ ртути; мы увидимъ, что въ короткомъ рукавѣ она тоже повысится; если будемъ приливать ртути до тѣхъ поръ, пока она не достигнетъ прежняго своего уровня въ короткомъ рукавѣ, и затѣмъ смѣримъ разницу уровнейъ въ обоихъ рукавахъ, то найдемъ, что въ открытомъ рукавѣ ртуть стоитъ на 15 дюймовъ выше, чѣмъ въ закрытомъ. Это покажетъ, что водяной парь, имѣющій теперь температуру 90 градусовъ, образующійся изъ воды, имѣющей ту же температуру оказываетъ уже давленіе равное полоторымъ атмосферамъ, слѣдовательно почти  $24\frac{1}{2}$  фунта на каждый  $\square$  дюймъ; если все болѣе и

болѣе будемъ усиливать топку, и замѣчая по термометрамъ температуры пара и воды, будемъ въ тоже время при каждомъ пониженіи уровня въ короткомъ рукавѣ возвышать его, приливая ртути въ длинный рукавъ, то увидимъ, что при температурахъ—давленія пара будутъ:

97	—	2	атм. или	$32\frac{1}{2}$	ф. на	□	дюйм.
107	—	3	— —	$48\frac{3}{4}$	—	—	—
115	—	4	— —	65	—	—	—
121	—	5	— —	$81\frac{1}{4}$	—	—	—
127	—	6	— —	$97\frac{1}{2}$	—	—	—
132	—	7	— —	$113\frac{3}{4}$	—	—	—

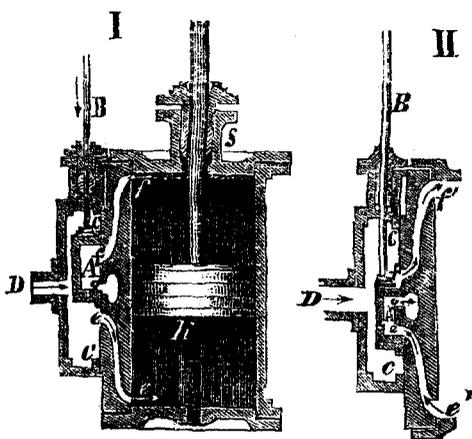
Замѣтимъ эти числа и вообразимъ себѣ, что паръ, приготовленный при одной изъ только что приведенныхъ температуръ, напримѣръ при 121 град. изъ котла трубою проводится въ верхнюю часть цилиндра, въ которомъ можетъ двигаться плотно прилегающій къ его стѣнкамъ и герметически отдѣляющій объ его половины поршень. Положимъ, что нижняя часть цилиндра сообщена съ атмосферою; тогда на каждый □ дюймъ площади поршня производится давленіе сверху въ  $81\frac{1}{4}$  фунтовъ, а на каждый □ дюймъ нижней площади поршня давитъ атмосфера, т. е. производится давленіе снизу вверхъ въ  $16\frac{1}{4}$  фунтовъ; слѣдова-

тельно на сторонѣ давленія сверху оказывается перевѣсъ въ 65 фунтовъ на каждый □ дюймъ поршня; если этотъ перевѣсъ достаточенъ для того, чтобы подвинуть поршень не смотря на тѣ препятствія, которыя встрѣчаетъ въ движеніи онъ и соединенная съ нимъ машина, то поршень начнетъ двигаться; вообразимъ теперь, что онъ дошелъ до своего крайняго нижняго положенія; въ это самое мгновеніе разобщимъ верхнюю часть цилиндра съ котломъ, и сообщимъ ее съ атмосферою, какимъ ни есть образомъ; нижнюю же часть цилиндра, напротивъ, сообщимъ съ котломъ, разобщивъ съ атмосферою. Поршень, очевидно, начнетъ двигаться къ верху, и если тогда, когда онъ дойдетъ до своего крайняго верхняго положенія мы опять сообщимъ верхнюю часть цилиндра съ котломъ, а нижнюю съ атмосферою, то поршень опять начнетъ двигаться къ низу. Такимъ образомъ попеременно соединяя съ котломъ то верхъ, то низъ цилиндра, мы попеременно будемъ двигать поршень то вверхъ, то внизъ; если къ этому поршню (черт. 2) приделаемъ стержень, который бы проходилъ черезъ крышку цилиндра, то этотъ стержень будетъ двигаться также то вверхъ, то внизъ попеременно. Если теперь головку стержня соединимъ съ шатуномъ на шарнеръ, и противоположный конецъ шатуна надънемъ на

цапфу кривошипа, то получимъ, что валъ, на которомъ посаженъ кривошипъ, придетъ во вращательное движеніе преодолевая свои мертвыя точки съ помощію маховаго колеса.

Слѣдовательно для движенія машины нужно только, чтобы въ надлежащія мгновенія верхъ и низъ цилиндра сообщались попеременно то съ котломъ, то съ атмосферою. Конечно лучше всего если машина сама будетъ производить это распределеніе пара; но прежде чѣмъ заставлять машину исполнять эту обязанность, посмотримъ, какъ можно достигнуть той же цѣли при помощи по возможности несложныхъ приборовъ руками.

Для этого вообразимъ себѣ, что одна стѣнка



Черт. 14.

цилиндра утолщена, и съ наружной стороны плоско обстругана, что въ этой стѣнкѣ продѣланы два канала *ee* и *ff* внизу и вверху ведущіе въ цилиндръ, а въ серединѣ въ этой же стѣнкѣ сдѣлано углубленіе *q* ведущее въ атмосферу; если

къ этой стѣнкѣ привинтимъ коробку, герметически закрытую со всѣхъ сторонъ, и въ эту коробку проведемъ паръ изъ котла, то онъ отчасти обоими каналами пойдетъ вверхъ и внизъ цилиндра бѣльшею же частію среднимъ каналомъ будетъ выходить въ атмосферу. Поставимъ теперь на обструганную стѣнку цилиндра еще коробку *C* такого вида, какъ изображено на чертежѣ; длина этой коробки между внутренними краями одинакова съ разстояніемъ внутреннихъ краевъ окошекъ, коими оканчиваются паровые каналы; разстояніе между наружными краями равно также разстоянію между наружными краями окошекъ, такъ что толщина закраинъ равна ширинѣ окошекъ. Если эту коробку поставить такъ, чтобы закраины закрывали собою оба окошка ведущія въ цилиндръ, то паръ не можетъ ни взойти въ цилиндръ, ни выйти изъ него; паръ прибывающій изъ котла въ коробку трубою *D* также не можетъ изъ нея уйти въ атмосферу, ибо труба *q*, ведущая туда, закрыта стѣнкою *A* золотника. Къ этой коробкѣ, называемой обыкновенно золотникомъ, приделанъ стержень, проходящій черезъ крышку коробки; руками мы можемъ передвигать этотъ стержень внизъ и вверхъ; подвинемъ его къ верху и подыместъ при этомъ на высоту равную ширинѣ окошка; тогда

золотникъ займетъ положеніе какъ на фиг. I черт. 14. При этомъ отверстіе, ведущее въ нижнюю часть цилиндра сообщится съ котломъ, а отверстіе ведущее въ верхнюю часть цилиндра сообщится съ внутреннейю полостью золотника и слѣдовательно съ атмосферою. Результатомъ будетъ то, что паръ пойдетъ въ нижнюю часть цилиндра, и поршень пойдетъ сверху внизъ; паръ же, находящійся въ верхней части цилиндра не представитъ ему особеннаго сопротивленія потому, что онъ верхнимъ каналомъ, какъ сказано, можетъ уходить во внутреннюю полость золотника и оттуда въ атмосферу. Оставимъ золотникъ въ этомъ положеніи до тѣхъ поръ, пока поршень не дойдетъ до своего крайняго верхняго положенія; тогда передвинемъ золотникъ къ низу на два раза взятую ширину окошка; золотникъ займетъ положеніе какъ на фиг. II черт. 14; внутренняя полость его сообщится съ низомъ цилиндра и слѣдовательно паръ изъ низу пойдетъ въ атмосферу; окошко же ведущее въ верхнюю часть цилиндра сообщится съ паромъ доставляемымъ изъ котла въ паровую, или такъ называемую раздѣлительную коробку; паръ изъ нея пойдетъ въ верхнюю часть цилиндра и погонитъ поршень къ низу. Если затѣмъ дождавшись, пока поршень дойдетъ до крайняго нижняго положенія,

передвинемъ золотникъ опять къверху, и притомъ опять на удвоенную ширину окошка, то снова нижняя часть цилиндра при посредствѣ паровой коробки сообщится съ котломъ, верхняя же часть цилиндра при посредствѣ внутренней полости золотника сообщится съ атмосферой,—и такъ далѣе. Такимъ образомъ видно, что двигая въ концахъ размаха поршня золотникъ къверху и кънизу на длину равную двойной ширинѣ окошка, мы распредѣлимъ паръ надлежащимъ образомъ въ нашемъ цилиндрѣ. Но мы уже выше сказали, что около мертвыхъ точекъ поршень движется довольно медленно, затѣмъ постепенно ускоряетъ свое движеніе, идетъ всего скорѣе около середины своего размаха, и затѣмъ постепенно замедляетъ свой ходъ до слѣдующей мертвой точки. Значитъ цилиндръ въ началѣ хода поршня нуждается въ довольно маломъ количествѣ пара, но по мѣрѣ того, какъ онъ приближается къ срединѣ, его потребность въ парѣ возрастаетъ все бѣльше и бѣльше, становится весьма большою около середины хода поршня, и затѣмъ снова уменьшается; а потому снабженіе цилиндра паромъ будетъ идти какъ и въ предъидущемъ случаѣ, если отверстія, которыми паръ входитъ въ цилиндръ и оттуда выходитъ, будутъ довольно малы въ началѣ хода порш-

ня, за тѣмъ постепенно будутъ увеличиваться по мѣрѣ приближенія поршня къ серединѣ размаха, сдѣлаются равными ширинѣ всего окошка, когда потребность цилиндра въ парѣ самая большая, т. е. когда поршень достигъ середины хода, а затѣмъ постепенно будутъ закрываться по мѣрѣ того, какъ поршень идетъ къ противоположной мертвой точкѣ. Этой постепенности въ открываніи и закрываніи окошекъ легко можно достигъ посредствомъ нашего золотника; на самомъ дѣлѣ вообразимъ, что поршень находится въ своемъ крайнемъ нижнемъ положеніи; поставимъ золотникъ такъ, что его закраины закрываютъ оба отверстія, и начнемъ двигать его постепенно къ верху наблюдая, чтобы все нижнее окошко ведущее изъ коробки въ цилиндръ было открыто, когда поршень находится въ серединѣ своего хода; при этомъ и окошко, сообщающее верхнюю часть цилиндра съ атмосферой будетъ постепенно открываться, и откроется совершенно, когда поршень будетъ въ серединѣ хода; станемъ затѣмъ двигать золотникъ обратно къ низу и закрывши его закраинами оба окошка въ то мгновеніе, когда поршень достигнетъ крайняго верхняго положенія, продолжимъ движеніе золотника къ низу; тогда окошко, ведущее въ верхнюю часть цилиндра будетъ мало по

малу сообщаться съ котломъ, окошко же ведущее въ нижнюю часть будетъ сообщаться съ атмосферой, а въ тоже время поршень изъ верхней мертвой точки будетъ приближаться къ срединѣ хода. За своимъ среднимъ положеніемъ поршень начинаетъ уже опускаться медленно; слѣдовательно окошко, пускающее паръ въ верхнюю часть цилиндра можетъ уже постепенно закрываться, для этого очевидно нужно, чтобы золотникъ подвинувшись къ низу и открывъ совершенно верхнее окошко началъ подыматься, и закрылъ бы наконецъ совершенно оба окна, когда поршень достигнетъ своей нижней мертвой точки; такимъ образомъ мы видимъ, что можно получить надлежащее распределеніе пара, если золотникъ постепенно открываетъ и закрываетъ отверстія, слѣдовательно двигается не сразу внизъ и не сразу вверхъ при концахъ размаха поршня, а напротивъ, совершенно подобно поршню постепенно опускается и подымается, причемъ мало по малу открываетъ и закрываетъ окна сообщающія цилиндръ съ котломъ и съ атмосферой. Притомъ, какъ видно изъ предъидущаго разбора, каждому положенію поршня должно отвѣчать совершенно определенное положеніе золотника, а именно:

- 1) Золотникъ долженъ закрывать оба окна ци-

цилиндра и верхнее и нижнее, когда поршень находится или вверху, или внизу цилиндра.

2) Золотникъ долженъ двигаться изъ этого положенія внизъ, когда поршень находится въ верхней мертвой точкѣ, и долженъ совершенно открыть верхнее отверстіе для сообщенія съ котломъ и нижнее для сообщенія съ атмосферою, когда поршень достигаетъ середины размаха; положеніе золотника при этомъ будетъ самое нижнее.

3) Золотникъ изъ этого крайняго нижняго своего положенія долженъ начать двигаться къ верху, и постепенно закрывать оба окна, по мѣрѣ того, какъ поршень приближается къ нижней мертвой точкѣ, и закрыть ихъ совершенно, когда поршень дойдетъ до этой точки.

4) Золотникъ затѣмъ долженъ продолжать двигаться къ верху, когда поршень вышедши изъ мертвой нижней точки движется къ верху, — и совершенно открыть оба отверстія, нижнее для сообщенія съ котломъ, а верхнее съ атмосферою, когда поршень будетъ находиться въ срединѣ своего восходящаго размаха; это будетъ самое верхнее положеніе золотника.

5) Наконецъ, когда поршень будетъ совершать вторую половину своего восходящаго размаха, золотникъ долженъ изъ своего верхняго положенія

постепенно опускаться, и снова закрыть оба отверстия, какъ то, которое ведетъ изъ коробки въ нижнюю часть цилиндра, такъ и то, которое при посредствѣ внутренней полости золотника сообщаетъ верхнюю часть съ атмосферою;— это закрытіе должно случиться въ то мгновеніе, какъ поршень достигнетъ своей верхней мертвой точки.

И такъ золотникъ подобно поршню можетъ постепенно совершать свои размахи вверхъ и внизъ и притомъ такъ, что:

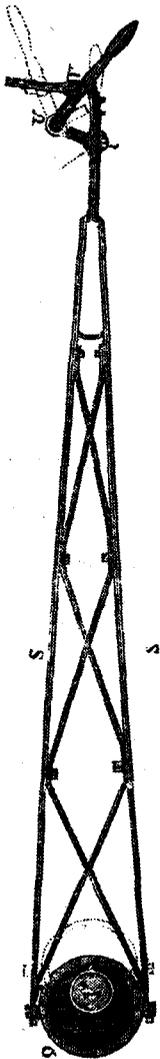
1) Крайнее верхнее положеніе золотника отвѣчаетъ срединѣ восходящаго размаха поршня, и лежитъ выше средняго положенія на ширину окошка.

2) Среднее положеніе золотника, когда онъ закрываетъ оба окошка отвѣчаетъ положенію поршня въ верхней и нижней мертвыхъ точкахъ.

3) Крайнее нижнее положеніе золотника отвѣчаетъ срединѣ нисходящаго движенія поршня, и лежитъ ниже средняго положенія на ширину окошка; — слѣдовательно полный размахъ золотника долженъ быть равенъ два раза взятой ширинѣ окошка,—и при одномъ размахѣ поршня н. п. м. сверху внизъ золотникъ долженъ дѣлать половину своего нисходящаго и половину своего восходящаго размаха; т. е. долженъ полный размахъ дѣлать въ тоже время какъ и поршень.

Если бы мы вздумали рукою сообщить золотнику все эти движения, то конечно невозможно бы было надяться на строгую точность и определенность ихъ, а следовательно невозможно бы было также надяться и на правильность дѣйствія самой машины. — Кроме того содержаніе особыхъ рабочихъ для этой утомительной и требующей постоянного напряженнаго вниманія работы обошлось бы безмѣрно дорого. Поэтому гораздо проще, лучше и дешевле заставить саму машину производить все эти движения. — Для этого замѣтивъ, что золотникъ дѣлаетъ одинъ размахъ въ тоже время, какъ и поршень, т. е. во время равное полному обороту вала съ кривошипомъ и маховымъ колесомъ, мы можемъ посадить на этотъ же валъ другой кривошипъ, котораго длина равнялась бы ширинѣ окошка, и соединить его со стержнемъ золотника, который следовательно уже необходимо будетъ имѣть размахъ равный двойной ширинѣ окошка. (Ибо какъ мы знаемъ размахъ стержня соединеннаго посредствомъ шатуна съ кривошипомъ всегда равенъ двойной длинѣ кривошипа, которую мы взяли равною ширинѣ окошка). — Кривошипъ въ этомъ случаѣ впрочемъ лучше замѣнить эксцентрикомъ, потому что придется посадить его недалеко отъ кривошипа преобразующаго попеременное движеніе пароваго поршня въ

вращательное движеніе вала, — а слѣдовательно придется во всякомъ случаѣ дѣлать на валъ колъно, что рѣшительно не стоитъ для передачи столь легкаго усилія, какъ то, которое нужно для движенія золотника. — Поэтому обыкновенно и устроятъ на валъ неподалеку отъ кривошипа, соединеннаго съ паровымъ стержнемъ эксцентрикъ, шатунъ или штанга котораго соединяется со стержнемъ золотника. Замѣтимъ еще, что для правильности движенія необходимо, чтобы направленіе подвижнаго стержня золотника проходило черезъ центръ вала; иногда это бываетъ неудобно сдѣлать; тогда, какъ въ чертежѣ 15 штангу  $S$  эксцентрика  $Q$  не прямо сцѣпляютъ со стержнемъ или штокомъ золотника, но съ концомъ  $t$  прямого или кольчататаго равноплечаго рычага, другой конецъ  $V$  котораго соединенъ бываетъ съ особымъ брусомъ, а этотъ послѣдній соединяется посредствомъ шарнера со стержнемъ золотника; то-



Чер. 15.

гда эксцентрикъ при вращеніи вала подымаетъ и опускаетъ конецъ  $t$  рычага, вслѣдствіе чего про-

тивоположный его конец опускается и подымается; какъ бы то ни было, но во всякомъ случаѣ при описанномъ устройствѣ золотникъ будетъ совершать полный размахъ свой въ тоже время, какъ и поршень; притомъ длина его размаха будетъ равна удвоенной ширинѣ окошка.

Но кромѣ этихъ двухъ условій золотникъ долженъ удовлетворять еще двумъ условіямъ 1) онъ долженъ находиться въ серединѣ своего размаха, когда поршень находится въ одной изъ своихъ мертвыхъ точекъ. 2) Золотникъ долженъ находиться въ верхней мертвой точкѣ, когда поршень находится въ серединѣ своего восходящаго размаха, и слѣдовательно въ нижней, когда поршень совершая нисходящій размахъ доходитъ до его середины.

Первому условію легко удовлетворить положеніемъ эксцентрика; на самомъ дѣлѣ, чтобы золотникъ былъ въ серединѣ размаха, когда поршень въ мертвыхъ точкахъ, нужно только, чтобы эксцентрикъ, приводящій его въ движеніе находился въ самомъ большемъ разстояніи отъ своихъ мертвыхъ точекъ тогда, когда кривошипъ въ нихъ находится, а потому если направленіе штанги эксцентрика тоже самое, что и направленіе шатуна кривошипа, то придется только эксцентрикъ такъ поставить на валъ, чтобы уголъ между направлени-

емъ кривошипа и линіей соединяющей середину эксцентрика съ центромъ вала былъ прямой.—Такимъ образомъ легко удовлетворить первому изъ приведенныхъ условій. Что касается до втораго, т. е. чтобы золотникъ находился въ верхней точкѣ, когда поршень находится въ серединѣ восходящаго размаха, и на оборотъ въ нижней точкѣ, когда поршень движется къ низу, то для этой цѣли стоить только поставить кривошипъ такъ, чтобы поршень находился въ серединѣ восходящаго размаха, т. е. при нашемъ чертежѣ горизонтально, въ правую или въ лѣвую сторону смотря по направленію, въ которомъ движется валъ, и затѣмъ поставить центръ эксцентрика въ верхнюю мертвую точку, если передача совершается безъ помощи рычага, или въ нижнюю если отъ штанги эксцентрика движеніе передается стержню золотника посредствомъ рычага, какъ въ прилагаемомъ чертежѣ 16, который схематически изображаетъ паровую машину въ тотъ моментъ, какъ поршень ея занимаетъ свое среднее положеніе. Въ этомъ чертежѣ:

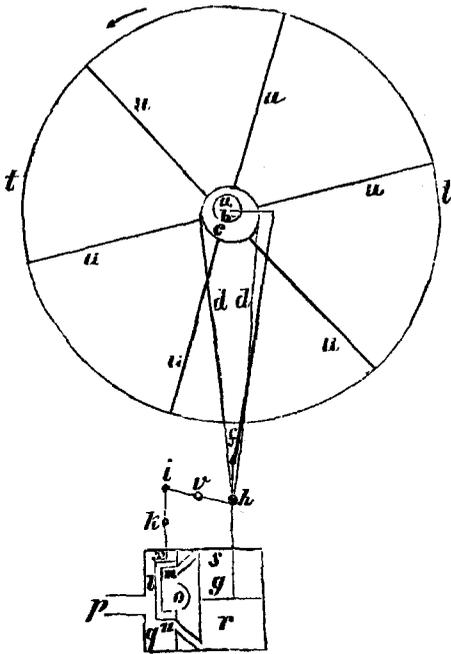
*a* есть центръ главнаго вала паровой машины.

*b* есть центръ эксцентрика.

*c* кружокъ эксцентрика.

*d, d* его штанга, соединяющаяся на шарнеръ въ *h* съ

плечомъ рычага  $hvi$ , котораго плеча равны между собою.



Черт. 16.

$i$  есть точка привъ-са къ этому рыча-гу бруска  $ik$ , пере-дающаго движеніе рычага стержню  $kx$ , соединенному съ коробкой

$l$  которая предста-вляетъ собою зо-лотникъ попере-менно сообщаю-щій каналы  $t$  и  $n$  съ паровою ко-робкой  $q$ , (въ ко-

торую паръ доставляется изъ котла трубою  $p$ ) и съ пароотводною трубою  $o$ , выводящею паръ, окончившій свое дѣйствіе въ атмосферу. При изображенномъ положеніи паръ изъ коробки  $q$  идетъ каналомъ  $n$  въ нижнюю часть цилиндра, а изъ верхней части выходитъ каналомъ  $t$  въ полость золотника  $l$  и оттуда въ атмосферу—черезъ трубу  $o$ .

$g$  есть паровой поршень, который находится въ срединѣ своего восходящаго размаха, и герме-

тически отдѣляетъ рабочую часть цилиндра *r* отъ нерабочей части *s*.

*gf* есть паровой стержень сочленяющійся въ *f* на шарнеръ съ шатуномъ *fe*, который соединяется съ кривошипомъ *ae*.

*ff* есть маховое колесо машины.

*ии* его спицы.

Стрѣлка показываетъ направленіе вращенія колеса и вала.

Изъ всего этого безъ малѣйшаго затрудненія можно видѣть, какимъ образомъ должно поставить эксцентрикъ и каковъ долженъ быть его эксцентритетъ (т. е. разстояніе его центра отъ центра вала) для того, чтобы распределеніе пара совершалось надлежащимъ образомъ. Но это распределеніе представляетъ нѣкоторыя неудобства, — которыя въ практикѣ избѣгаются нѣкоторыми небольшими измѣненіями въ положеніи эксцентрика, въ длинѣ стѣночекъ, которыми золотникъ открываетъ и закрываетъ отверстія и т. д. — Мы не можемъ здѣсь входить во всѣ эти подробности; для насъ достаточно было показать, какимъ образомъ описанные нами весьма важные приборы кривошипъ и эксцентрикъ прилагаются къ паровымъ машинамъ.

---

## ЛЕКЦІЯ III.

### Различныя системы паровыхъ машинъ смотря по способу дѣйствія въ нихъ пара.

Описанныя нами паровыя машины суть такъ называемыя машины высокаго давленія безъ охлажденія и расширенія пара; они суть самыя простыя изъ всѣхъ паровыхъ машинъ. — Но не трудно замѣтить, что машины эти дѣйствуютъ при довольно невыгодныхъ условіяхъ. — На самомъ дѣлѣ въ нихъ на заднюю сторону поршня дѣйствуетъ атмосферное давленіе, которое на каждый  $\square$  дюймъ поршня составляетъ  $16\frac{1}{4}$  фунтовъ. Слѣдовательно если поршень имѣетъ 15 дюймовъ въ діаметръ или  $177 \square$  дюймовъ площади, то это давленіе на заднюю сторону поршня составитъ 2876 фунтовъ или почти 72 пуда, такъ что вслѣдствіе этого давленія машина ходитъ точно такъ, какъ

будто этого давленія нѣтъ вовсе, а какъ будто она поднимаетъ при каждомъ своемъ размахѣ грузъ въ 72 пуда на высоту равную величинѣ размаха; понятно, что еслибы мы могли совершенно уничтожить это вредное давленіе на заднюю сторону поршня, то могли бы машину заставить ходить точно такъ, какъ она ходитъ теперь, да еще подымать при каждомъ размахѣ 72 пуда на высоту равную высотѣ хода поршня; если на примѣръ эта высота будетъ 1 аршинъ или 28 дюймовъ и если наша машина дѣлаетъ 60 размаховъ въ минуту, то уничтоживъ давленіе на заднюю сторону поршня, мы могли бы кромѣ той работы, которую машина уже производитъ, подымать еще каждую минуту грузъ въ 72 пуда на 60 аршинъ или на 20 сажень высоты; — вмѣсто того, чтобы подымать этотъ грузъ мы могли бы заставить машину производить какую ни есть другую работу, соответствующую этому подъему, и такимъ образомъ весьма значительно увеличили бы силу машины, издерживая тоже количество пару, слѣдовательно и тоже самое количество топлива. Если бы мы довели давленіе на заднюю сторону поршня до 2 фунтовъ, то и тогда наша машина весьма значительно выиграла бы. — На самомъ дѣлѣ тогда она могла бы подымать каждымъ  $\square$  дюймомъ пло-

щади поршня лишній грузъ конечно не въ  $16\frac{1}{4}$ , а только въ  $14\frac{1}{4}$  фунтовъ, и мы могли бы посредствомъ той же машины каждую минуту подымать на 20 сажень лишній грузъ въ 2522 фунта или въ 63 пуда; правда при этомъ подъемъ часть сила употребилась бы на преодоленіе разныхъ вредныхъ сопротивленій, о которыхъ мы будемъ говорить въ послѣдствіи; отсчитывая на нихъ даже  $\frac{1}{3}$  всего нашего выигрыша, мы могли бы все-таки каждую минуту подымать на 20 сажень грузъ слишкомъ въ 42 пуда, заставляя кромѣ того машину производить ту же самую работу, которую она производила и прежде.—Выгода огромная; вся задача состоитъ лишь въ томъ, какъ уменьшить давленіе на заднюю сторону поршня до того, чтобы оно изъ  $16\frac{1}{4}$  фунтовъ обратилось только въ 2 фунта, а если возможно, то и еще меньше.

Чтобы достигнуть этой цѣли рассмотримъ нѣсколько подробнѣе свойства пара; паръ образуется изъ воды не только тогда, когда она кипитъ, но и при всякой другой температурѣ; доказательствомъ тому можетъ служить то обстоятельство, что вода стоящая въ открытомъ сосудѣ при обыкновенной комнатной температурѣ, постепенно изъ него убываетъ,—слѣдовательно обращается въ пары, т. е. въ подобную воздуху жидкость, кото-

рая владѣя совершенною прозрачностью, потому самому незамѣтна для глазъ. Эта жидкость подобно воздуху и пару, образуемому при высокихъ температурахъ, оказываетъ также давленіе на всякую стѣнку, которая мѣшаетъ ей расширяться и занимать все бѣльшій и бѣльшій объемъ. При сжатіи этого пара его давленіе также увеличивается вдвое, когда его объемъ становится вдвое меньше, втрое, — когда его объемъ уменьшается втрое и т. д. Но все это подобіе между свойствами воздуха и пара продолжается только до извѣстныхъ предѣловъ; именно, если мы постепенно сжимая паръ имѣющій температуру въ 20 гр. *R.* доведемъ его наконецъ до того, что онъ оказываетъ на каждый □ дюймъ стѣнокъ сосуда давленіе въ  $\frac{1}{2}$  фунта, то какъ бы далеко мы дальше не сжимали его, — его давленіе черезъ это не усилится, а только часть пара будетъ осѣдать на днѣ нашего сосуда въ видѣ воды; такъ что при температурѣ 20 гр. паръ не можетъ имѣть давленія превосходящаго  $\frac{1}{2}$  фунта на каждый □ дюймъ. — При температурѣ въ 30 гр. самое большее давленіе, которое можетъ оказать паръ на □ дюймъ, будетъ въ 1 русскій фунтъ; при температурѣ 40 гр. его наибѣльшее давленіе будетъ въ 2 р. фунта на □ дюймъ, при 52 гр. его давле-

не будетъ въ 4 фунта на □ дюймъ, при 65 гр. оно уже возвысится до 8 фунтовъ, а при 80 гр. станетъ какъ извѣстно равно атмосферному давлению, то есть достигнетъ до  $16\frac{1}{4}$  фунтовъ на каждый □ дюймъ.

Изъ этихъ чиселъ видно, что если мы хотимъ давленіе на заднюю сторону поршня уменьшить до 2 фунтовъ, то нужно отработавшій въ цилиндрѣ, или такъ называемый мятый, паръ выпускать не въ атмосферу, какъ прежде, а въ особый сосудъ, въ которомъ бы не было воздуха и температура котораго ни въ какомъ случаѣ не могла бы увеличиваться далѣе 40 гр.—Уходя въ этотъ сосудъ паръ тотчасъ охлаждается, излишнее его количество тотчасъ осѣдаетъ на дно сосуда въ видѣ воды, а остатокъ принимаетъ давленіе въ 2 фунта на каждый □ дюймъ. Все дѣло значитъ приводится лишь къ тому, чтобы въ этомъ сосудѣ, куда пускается паръ, постоянно поддерживать температуру не большую 40 град., не смотря на то, что при каждомъ размахѣ поршня въ него доставляется равный всему цилиндру объемъ пару имѣющаго очень высокую температуру, — въ нашемъ примѣрѣ 121 град.—Чтобы поддержать въ этомъ сосудѣ постоянно температуру въ 40 градусовъ приливаютъ въ него холодную воду, которую сред-

нимъ числомъ можно считать въ 10 град. температуры.— Смѣшиваясь съ паромъ она его и охлаждаетъ. Но много ли воды нужно для этого охлаждения? Если бы ея нужно было по вѣсу столько же, сколько вѣситъ охлаждаемый паръ, то не можетъ быть ничего выгоднѣе охлаждения; на самомъ дѣлѣ къ машинѣ во всякомъ случаѣ, употребляемъ ли охлажденіе или нѣтъ, должно доставлять каждую минуту столько фунтовъ воды, сколько она расходуетъ пару; если бы какъ сказано достаточно было фунта холодной воды на фунтъ пару, чтобы давленіе сего послѣдняго понизить до 2 фунтовъ на  $\square$  дюймъ, то охлажденіе было бы выгодно не только въ томъ отношеніи, что машина могла бы подымать лишній грузъ, но и въ томъ отношеніи, что вода нагрѣлась бы черезъ примѣсь къ ней горячаго осажденнаго пара отъ 10 до 40 градусовъ, и затѣмъ могла бы быть уже отправлена въ котель; отъ этого получилась бы извѣстная экономія въ топливѣ, ибо конечно легче нагрѣть до 121 градуса воду имѣющую уже 40 градусовъ температуры, нежели воду имѣющую только 10 градусовъ; но по несчастію оказывается не тѣ.— Опытъ показалъ, что съ удовлетворительною для практики точностію можно принимать, что одинъ фунтъ пару обращаясь въ воду *тойже темпера-*

*туры* освобождаетъ столько теплоты, что ею можно нагрѣть на 1 град. 430 фунтовъ воды; слѣдовательно на 10 градусовъ этою теплотою можно нагрѣть 43 фунта воды; а на 30 град. втрое меньше т. е. почти 15 фунтовъ воды; и такъ для того чтобы паръ при 121 град. обратить въ воду той же температуры намъ нужно прибавить къ нему 15 фунтовъ воды, которая при этомъ нагрѣется отъ 10 до 40 градусовъ; но намъ нужно еще этотъ фунтъ полученной изъ пару воды охладить отъ 121 град. до 40, слѣдовательно на 81 градусъ; для этого нужно прибавить еще новое количество 10 градусной воды. — Такъ какъ эта вода должна нагрѣться только до 40 град., то есть на 30 градусовъ, то одинъ фунтъ ея будучи примѣшанъ къ фунту 121 град. воды можетъ отнять у нея только 30 град. температуры, т. е. доведетъ ея отъ 121 до 91 гр.—Другой фунтъ 10 град. воды доведетъ ея температуру отъ 91 град. до 61, а третій фунтъ доведетъ бы эту температуру до 31 град. А какъ мы охлаждаемъ воду только до 40 град., то очевидно обративши паръ въ воду намъ нужно еще къ ней прибавить нѣсколько менѣе 3 фунтовъ 10 градусной воды, чтобы получить въ нашемъ сосудѣ смѣсь имѣющую температуру въ 40 градусовъ; а какъ для обращенія пара въ воду требова-

лось кроме того 15 фунтовъ воды, то очевидно, что при взятыхъ нами условіяхъ нужно на охлажденіе фунта пару употребить до 18 фунтовъ воды. — Слѣдовательно при употребленіи охлажденія машина должна будетъ подымать къ себѣ въ 18 разъ больше воды, чѣмъ тогда, когда она дѣйствовала безъ охлажденія; если машина подобно локомотиву можетъ возить съ собою лишь небольшой запасъ воды, то конечно нельзя употреблять охлажденія и отъ него по неволѣ отказываются. Если воду придется доставать для питанія машины съ значительной глубины, то доставка воды можетъ быть поглотить больше, чѣмъ мы выиграемъ въ силѣ машины устроивъ при ней охлажденіе, — но если вода близко, если въ ней не можетъ встрѣтиться недостатка (какъ на пароходахъ) то конечно не благоразумно бы было упускать случай усилить дѣйствіе машины. Чтобы показать, сколько на самомъ дѣлѣ выигрывается въ дѣйствіи машины возьмемъ прежніе ея размѣры, т. е. площадь поршня въ 177 □ дюймовъ, а размахъ его въ 28 дюймовъ, и расчислимъ, сколько пару издерживаетъ въ минуту эта машина, и слѣдовательно сколько воды потребуется для ея охлажденія, предполагая, что поршень какъ прежде дѣлаетъ 60 размаховъ въ минуту; не трудно видѣть, что объемъ цилиндра составляетъ почти 5000 ку-

бических дюймовъ; если бы этотъ объемъ наполнить водою, то онъ вѣсилъ бы пять пудовъ или 200 фунтовъ; но паръ при 121 град. температуры и 5 атмосферахъ давленія въ 388 или почти въ 400 разъ легче воды, а какъ воды помѣстилось бы въ цилиндрѣ 200 фунтовъ, то пару помѣстится въ 400 разъ меньше по вѣсу; слѣдовательно полфунта; а потому при каждомъ размахѣ поршня тратится  $\frac{1}{2}$  фунта пару, а какъ на фунтъ пару чтобы его охладить до 40 град. требуется при нашихъ условіяхъ 18 фунтовъ воды, то значить при каждомъ размахѣ поршня потребуется доставить машинѣ 9 фунтовъ воды; при 60 размахахъ, которые поршень дѣлаетъ въ минуту потребуется воды 540 фунтовъ или  $13\frac{1}{2}$  пудовъ; увеличивая это число на  $\frac{1}{3}$ , чтобы вознаграждать потери, которыя необходимо происходятъ при подъемѣ воды, можемъ положить, что машина должна поднять до сосуда въ которомъ охлаждается паръ 18 пудовъ воды ежеминутно. — Изъ этого сосуда теплая вода затѣмъ должна быть удалена, потому что вода всегда заключаетъ въ себѣ известное количество воздуха, который постоянно прибывая вмѣстѣ съ водою въ охладникъ, могъ бы тамъ сгуститься и получить довольно сильное давленіе. Нужную для этого работу можно сравнить тоже съ подъемомъ воды, назначенной для

охлаждения; положимъ, что вся работа, тратимая машиною на охлажденіе, равносильна съ подъемомъ 18 пудовъ воды, нужныхъ для этого охлаждения, на 10 сажень. Значитъ когда наша машина должна дѣйствовать съ охлажденіемъ, то она должна для того, чтобы произвести это охлажденіе, кромѣ нормальной работы, подымать ежеминутно 18 пудовъ воды на высоту 10 сажень; если же бы она дѣйствовала безъ охлаждения, то должна бы была доставлять не болѣе 1 пуда на ту же высоту (ибо издерживая при каждомъ размахѣ поршня  $\frac{1}{2}$  фунта воды, она въ 60 размаховъ издержитъ 30 фунтовъ, да полагая 10 фунтовъ на разныя потери и получимъ 40 фунтовъ или пудъ); слѣдовательно, при употребленіи охлаждения на машину возлагается лишняя работа для подъема 17 пудовъ воды на высоту 10 сажень. Лишняя же работа, которую можетъ производить машина вслѣдствіе того, что паръ въ ней охлаждается, какъ мы сказали, будетъ состоять въ подъемѣ каждую минуту 42 пудовъ на 20 сажень или 84 пудовъ на 10 сажень, а потому машина, подымая сама воду, нужную для охлаждения пара, получаетъ еще возможность кромѣ своей нормальной работы подымать ежеминутно 67 пудовъ на 10 сажень, или выигрываетъ въ четыре раза работы противъ того, сколько употребляетъ

на подъемъ нужной для охлажденія воды. Если же бы пришлось для охлажденія пара подымать воду съ 40 сажень глубины, то мы получили бы столь малую выгоду отъ охлажденія, что выгоднѣе бы было дѣйствовать безъ него, ибо по-крайней-мѣрѣ машина стала бы проще и легче. Подобнымъ же образомъ въ каждомъ частномъ случаѣ можно приблизительно оцѣнить, выгодно ли употребленіе охлажденія или нѣтъ; правда, способъ вычисленія, который мы изложили очень грубъ, и даетъ только приблизительные результаты, но намъ для рѣшенія вопроса, стоитъ ли охлаждать паръ или нѣтъ, ихъ совершенно достаточно. Ибо если охлажденіе доставляетъ лишь очень малую выгоду, то положительно можно сказать, что его употреблять не стоитъ; ибо при употребленіи охлажденія машина становится сложнѣе,—къ ней присоединяется холодильникъ, для котораго нуженъ прісмотръ и починка, потому что въ немъ не рѣдко открываются побѣги, совершенно уничтожающіе его достоинство, къ ней присоединяется особый насосъ, выкачивающій изъ холодильника теплую воду, паръ и воздухъ, принесенный водою, и называемый потому самому воздушнымъ насосомъ; вслѣдствіе этихъ новыхъ частей, присоединяющихся къ машинѣ, она требуетъ для себя гораздо больше мѣста,

чѣмъ машина безъ охлажденія; производимое ею стѣсненіе, увеличеніе числа починокъ и исправленій, слѣдовательно увеличеніе числа остановокъ всей фабрики приводимой въ движеніе машиною, наконецъ и большая цѣнность довольно сложныхъ паровыхъ машинъ съ охлажденіемъ пара суть важныя обстоятельства, которыя обыкновенно заставляютъ жертвовать выгодами отъ охлажденія пара, въ томъ случаѣ, когда онѣ не очень велики.

При употребленіи охлажденія каждый фунтъ пару, какъ мы видѣли производить большую работу, чѣмъ тогда, когда онъ дѣйствуетъ безъ охлажденія; очевидно слѣдовательно, что одна и та же работа потребуеъ для своего производства меньше пару, а слѣдовательно меньше и топлива, когда паръ охлаждается, чѣмъ тогда, когда онъ употребляется безъ охлажденія. Слѣдовательно въ заключеніе всего экономія, производимая охлажденіемъ, приводится къ экономіи въ количествѣ потребляемаго машиною пара, т. е. къ экономіи топлива; есть еще способъ увеличить эту экономію; на самомъ дѣлѣ въ предъидущемъ на каждый размахъ поршня тратился объемъ пару равный объему цилиндра; окончивши свое дѣйствіе весь этотъ паръ, уходя въ холодильникъ или въ атмосферу, весьма быстро терялъ совершенно даромъ свое высокое

давленіе отъ соприкосновенія съ холоднымъ воздухомъ или съ холодною водою, — а между тѣмъ можно бы было это высокое давленіе употребить еще въ пользу слѣдующимъ образомъ; положимъ, что мы пускали паръ въ верхнюю часть цилиндра въ то время, какъ поршень шелъ отъ своей верхней мертвой точки до середины размаха, и затѣмъ заперли впускъ пару въ верхнюю часть цилиндра, продолжая его выпускать изъ нижней; паръ заключенный въ верхней части цилиндра не находя себѣ выхода изъ нея, но стремясь расшириться, продолжаетъ подвигать поршень къ низу; при этомъ онъ дѣйствительно расширяется, занимаетъ все бѣльшій и бѣльшій объемъ, и постепенно теряетъ свое давленіе, такъ что давленіе при концѣ размаха будетъ почти вдвое меньше чѣмъ въ началѣ и въ серединѣ его; при этомъ паръ понижая свое давленіе производитъ однакоже дѣйствіе полезное для нашей машины, т. е. подвигаетъ поршень къ низу; дѣйствіе это, правда, будетъ меньше, чѣмъ полное дѣйствіе постоянно пускаемаго пару, ибо, какъ замѣчено, давленіе на поршень, производимое паромъ становится все меньше и меньше по мѣрѣ того, какъ паръ расширяется; но зато не забудемъ, что это давленіе производится тѣмъ же паромъ, который уже прежде въ первую половину размаха оказалъ

свое полное давленіе на поршень. Эта прибавка полезнаго дѣйствія, получаемая нами во вторую половину размаха, меньше чѣмъ полное дѣйствіе которое оказалъ бы паръ, если бы мы его пускали въ цилиндръ и во вторую половину размаха, но за то мы теперь въ эту половину вовсе не пускаемъ пару въ цилиндръ и, слѣдовательно получаемъ эту прибавку къ полезному дѣйствію совершенно даромъ, не тратя на нее нисколько топлива, и издерживая при каждомъ размахѣ поршня объемъ пару, равный только половинѣ объема цилиндра; если бы мы стали пускать паръ только на  $\frac{1}{3}$  хода поршня, то польза доставленная расширеніемъ стала бы еще больше; но понятно что расширеніе пара нельзя вести черезъ-чуръ далеко; ибо необходимо, чтобы паръ постоянно двигалъ поршень; слѣдовательно, его давленіе въ рабочей части цилиндра и при концѣ размаха поршня должно быть больше чѣмъ въ нерабочей его части, сообщенной съ атмосферою или съ холодильникомъ. Этимъ условіемъ ограничивается употребленіе расширенія пара, которое очевидно можно сдѣлать тѣмъ больше, чѣмъ больше давленіе, подъ которымъ работаетъ поршень въ началѣ своего размаха, и чѣмъ меньше давленіе на заднюю сторону поршня. Если на примѣръ начальное давленіе пара на поршень въ

началь размаха будетъ 3 атмосферы (слѣдовательно на каждый  $\square$  дюймъ  $48\frac{3}{4}$  фунтовъ), а на заднюю сторону поршня будетъ дѣйствовать атмосферное давленіе или  $16\frac{1}{4}$  фунтовъ, то можно смѣло расширять паръ въ рабочей части, пока онъ не достигнетъ 24 фунтовъ давленія, т. е. пока избытокъ его давленія падъ давленіемъ на заднюю сторону не составитъ 8 фунтовъ; паръ потому можно въ этомъ случаѣ расширять въ два раза, слѣдовательно, можно прекратить притокъ пару въ цилиндръ тогда, когда поршень пройдетъ  $\frac{1}{2}$  своего размаха. Остальные  $\frac{1}{2}$  размаха можно заставить паръ дѣйствовать расширеніемъ. Возьмемъ теперь машину, въ которой начальное давленіе пара есть 6 атмосферъ, или  $97\frac{1}{2}$  фунтовъ на каждый  $\square$  дюймъ, давленіе же на заднюю сторону поршня посредствомъ охлажденія доведено до 4 фунтовъ; тогда слѣдуя предъидущему правилу можно будетъ расширять паръ, пока онъ не получитъ давленія въ 12 фунтовъ на  $\square$  дюймъ, слѣдовательно въ 8 разъ, т. е. можно будетъ пускать паръ въ цилиндръ на  $\frac{1}{8}$  доль размаха поршня, а остальные  $\frac{7}{8}$  размаха можно заставить паръ дѣйствовать расширеніемъ.

Изъ этого видно, что охлажденіе пара доставляя прямую выгоду непосредственнымъ увеличеніемъ работы машины, представляетъ еще то преимущест-

ва, что при его употребленіи давленіе на заднюю сторону поршня меньше, и потому расширеніе въ машинахъ съ охлажденіемъ можетъ быть сдѣлано гораздо значительнѣе, чѣмъ въ машинахъ безъ охлажденія пара. — Въ машинахъ высокаго давленія расширеніе можетъ быть сдѣлано больше, чѣмъ въ машинахъ съ болѣе низкимъ давленіемъ, — и въ этомъ отношеніи машины высокаго давленія представляютъ преимущество сравнительно съ машинами низкаго давленія.

Вопросъ, какъ произвести расширеніе пара, или говоря языкомъ механиковъ, какъ отсѣчь паръ на опредѣленной частіи хода поршня, разрѣшается въ практикѣ весьма различно, смотря по обстоятельствамъ. Чтобы понять возможность рѣшенія, вообразимъ въ трубѣ, которою паръ приводится въ паровую коробку просто кранъ, который дѣйствиємъ машины запирается въ опредѣленные мгновенія, и тѣмъ не позволяетъ пару проникать въ паровую коробку.

Изъ предъидущаго понятно, что значать выраженія: машина съ охлажденіемъ и безъ охладженія, съ расширеніемъ и безъ расширенія пара. Но вѣроятно каждому приходилось также слышать выраженія: паровая машина простаго и двойнаго дѣйствія, паровая машина высокаго и низкаго давле-

нія; заговоривъ одинъ разъ о паровыхъ машинахъ мы постараемся объяснить эти выраженія.

Въ предыдущемъ мы предполагали, что нисходящее и восходящее движеніе поршня оба производятся давленіемъ на него пара, такъ что попеременно то верхняя, то нижняя часть цилиндра будетъ соединена съ котломъ и съ атмосферою. — Когда паръ дѣйствуетъ такимъ образомъ, то машина называется машиною двойнаго дѣйствія; но иногда заставляютъ паръ дѣйствовать иначе; именно одну часть цилиндра на примѣръ верхнюю держатъ въ постоянномъ сообщеніи съ атмосферою, а нижнюю попеременно сообщаютъ то съ котломъ, то съ атмосферою; со стержнемъ пароваго поршня, соединяютъ тогда значительный грузъ, который при подъемѣ поршня подымается, а при спускѣ опускается; вообразимъ же поршень въ самомъ нижнемъ положеніи, и сообщимъ нижнюю часть цилиндра съ котломъ; паръ пойдетъ въ эту нижнюю часть и погонитъ поршень къ верху;— грузъ соединенный со стержнемъ при этомъ подыметъ; положимъ затѣмъ, что поршень дошелъ до самаго верхняго своего положенія; закроемъ сообщеніе нижней части цилиндра съ котломъ и сообщимъ ее съ атмосферою. Паръ устремится изъ нижней части цилиндра въ воздухъ, и скоро его давленіе на нижнюю сто-

рону поршня станетъ равно атмосферному давлению, производимому постоянно на верхнюю его грань; тогда ничто уже не помѣшаетъ грузу, поднявшемуся при подъемѣ поршня, спускаться внизъ, и если только онъ достаточно великъ, то онъ дѣйствительно спустится и приведетъ въ движеніе всю машину; затѣмъ когда поршень подъ дѣйствіемъ этого груза достигнетъ своего крайняго нижняго положенія, то снова паръ подыметъ поршень и т. д. Машины, въ которыхъ паръ дѣйствуя подобнымъ образомъ, только подымаетъ или только опускаетъ поршень, называются машинами простаго дѣйствія. Онѣ дѣйствуютъ не такъ ровно, какъ машины двойнаго дѣйствія, въ которыхъ поршень и подымается и опускается находясь въ одинаковыхъ обстоятельствахъ, а потому эти машины не употребляются для фабричнаго дѣла. Ихъ употребленіе ограничивается приведеніемъ въ движеніе насосовъ, а также и другихъ машинъ, о которыхъ мы будемъ говорить на слѣдующей лекціи.

Машины высокаго и низкаго давленія различаются по температурѣ, при которой образуется паръ и, слѣдовательно, по давленію, которое онъ имѣетъ въ котлѣ; вообще, если давленіе образовавшагося въ котлѣ пара, менѣе 2 атмосферъ, то машины называются низкаго давленія: онѣ дѣйствуютъ всегда съ

охлажденіемъ пара; самое обыкновенное ихъ давленіе отъ одной атмосферы съ четвертью до полуторыхъ атмосферъ или отъ 20 до 25 фунтовъ на □ дюймъ.

Машины, въ которыхъ паръ имѣетъ давленіе отъ 2 до 4 атмосферъ, или отъ 32 до 65 фунтовъ на □ дюймъ, называются обыкновенно машинами средняго давленія; онѣ весьма часто употребляются безъ охлажденія, которое однако для нихъ можетъ быть очень полезно.

Машины, въ которыхъ давленіе на каждый □ дюймъ превосходитъ 65 фунтовъ, или которыя дѣйствуютъ при 5 и 6 атмосферахъ давленія, называются обыкновенно машинами высокаго давленія. Онѣ употребляются особенно тогда, когда требуется устроить машину сколь возможно простую, и сколь возможно малыхъ размѣровъ. Вслѣдствіе этого, онѣ почти всегда употребляются безъ охлажденія пара. Эти машины приводятъ въ движеніе локомотивы и очень распространились въ видѣ такъ называемыхъ локобилей, или передвижныхъ паровыхъ машинъ на колесахъ, которыя нынѣ въ сельскомъ хозяйствѣ Англій и Франціи играютъ очень важную роль.

Весьма любопытно сравнить между собою размѣры цилиндровъ различныхъ паровыхъ машинъ, производящихъ одну и ту же работу. Для этой

цѣли замѣтимъ сначала, что вообще быстрота, съ которою движется поршень въ заводскихъ машинахъ бываетъ около 4 футовъ въ секунду, такъ что поршень пробѣгаетъ въ секунду иногда больше иногда меньше 4 футовъ; но мы знаемъ, что валы разныхъ машинъ дѣлаютъ весьма различныя числа оборотовъ; есть машины, въ которыхъ валъ дѣлаетъ около 20 оборотовъ въ минуту, и есть машины, валы которыхъ дѣлаютъ до 100 и болѣе оборотовъ въ минуту; чтобы исполнить это условіе относительно числа оборотовъ, не мѣняя скорости поршня, обыкновенно измѣняютъ высоту цилиндра; если бы мы, напримѣръ, оставивъ скорость въ 4 фута, сдѣлали высоту цилиндра такую, чтобы ходъ поршня былъ 8 футовъ, то понятно, что поршень совершалъ бы свой размахъ къверху въ 2'', да къ низу тоже въ 2'', слѣдовательно полное качаніе поршня и одинъ полный оборотъ вала совершался бы въ 4'', и слѣдовательно валъ дѣлалъ бы только 15 оборотовъ въ минуту. Если же мы сдѣлаемъ длину хода поршня только въ два фута, то понятно, что поршень сохраняя свою скорость 4 фута въ секунду совершитъ свое полное колебаніе вверхъ и внизъ въ одну секунду, а потому валъ каждую секунду оборотится одинъ разъ, и слѣдовательно въ минуту сдѣлаетъ 60 оборотовъ.—

Поэтому высота цилиндра главнымъ образомъ опредѣляетъ, сколько оборотовъ въ минуту сдѣлаетъ главный валъ машины.—Сила машины зависитъ не отъ высоты цилиндра, а отъ величины площади поршня,—и отъ давленія, которое на нее оказываетъ паръ. На самомъ дѣлѣ паръ распространяющійся въ цилиндрѣ, производитъ свое опредѣленное давленіе на каждый  $\square$  дюймъ площади; чѣмъ бѣльше площадь, тѣмъ при той же упругости пара давленіе на эту площадь бѣльше, и слѣдовательно тѣмъ бѣльшій грузъ можетъ поднимать машина. Положимъ, на примѣръ, имѣемъ двѣ машины низкаго давленія, т. е. съ давленіемъ въ котлѣ около 20 фунтовъ и съ охлажденіемъ пара, пусть въ одной изъ нихъ площадь поршня 100, а въ другой 200  $\square$  дюймовъ, и положимъ, что паръ пришедши въ цилиндръ оказываемъ давленіе на поршень меньшее 20 ф., положимъ  $\frac{2}{3}$  этихъ 20, или  $13\frac{1}{3}$  фунтовъ на  $\square$  дюймъ; сзади поршня на каждый  $\square$  дюймъ производится давленіе положимъ въ 2 фунта; слѣдовательно дѣйствительное давленіе на  $\square$  дюймъ будетъ 11 фунтовъ; отсчитывая 2 фунта его на поддержаніе движенія поршня и соединенныхъ съ нимъ частей машины, когда они ходятъ не поднимая ни какого груза, остается всего 9 фунтовъ давленія на  $\square$  дюймъ, которыя можно употребить въ

дѣло. Изъ нихъ опять должно отсчитать около  $\frac{1}{8}$  доли или около фунта съ четвертью, чтобы преодолѣть сопротивленія, которыя являются въ машинѣ отъ того, что она ходитъ не порожняя, а подымаетъ извѣстный грузъ; тогда получимъ, что давленіе, которое можно дѣйствительно обратить въ пользу въ нашей машинѣ, будетъ около  $7\frac{3}{4}$  фунтовъ на каждый  $\square$  дюймъ; слѣдовательно, машина со 100  $\square$  дюймами площади поршня можетъ подымать каждую секунду 775 фунтовъ или 20 пудовъ безъ 25 фунтовъ на высоту 4 футъ, между тѣмъ какъ машина съ площадью поршня въ 200  $\square$  дюймовъ, можетъ поднимать на высоту 4 футовъ каждую секунду вдвое больше или почти 39 пудовъ, такъ, что если давленія пара въ двухъ машинахъ одинаковы, то пользы ими приносимыя будутъ тѣмъ больше, чѣмъ больше у нихъ площади поршня, т. е. чѣмъ шире ихъ цилиндры. Не должно впрочемъ думать, что расширеніе площади поршня увеличиваетъ силу машины даромъ, безъ всякаго съ нашей стороны пожертвованія; удвоивъ площадь поршня, мы въ то же время удвоили и количество пара, издерживаемое цилиндромъ; ибо, очевидно, при каждомъ размахѣ поршня весь цилиндръ наполняется паромъ, — а теперь цилиндръ сдѣлался вдвое больше.

Посмотримъ, какъ широкъ выйдетъ цилиндръ,

если мы тѣ же 39 пудовъ хотимъ подымать еже-  
секундно на 4 фута, но при этомъ хотимъ употре-  
бить машину съ охлажденіемъ пара и съ давлени-  
емъ въ котлѣ равнымъ 3 атмосферамъ или 49 фун-  
тамъ; давленіе внутри цилиндра будетъ, разумѣт-  
ся, менѣе 49 фунтовъ; полагая его, какъ прежде, рав-  
нымъ  $\frac{2}{3}$  сорока девяти—найдемъ, что въ цилиндрѣ  
на каждый  $\square$  дюймъ площади поршня производится  
давленіе около 33 фунтовъ; изъ нихъ нужно от-  
нять 2 фунта на давленіе сзади поршня и 2 фун-  
та на поддержаніе движенія поршня и проч.; остает-  
ся полезнаго давленія 29 фунтовъ; отсчитывая изъ  
него еще  $\frac{1}{8}$  долю, какъ прежде, увидимъ, что по-  
лезное давленіе на каждый  $\square$  дюймъ будетъ 25  
фунтовъ, т. е. почти въ четверо больше прежняго,  
такъ, что въ этой машинѣ для подъема каждую секунду  
39 пудовъ на 4 фута потребуется немного больше  
60  $\square$  дюймовъ площади поршня; потому что каж-  
дый  $\square$  д. можетъ подымать 25 фунтовъ, слѣдо-  
вательно, 10  $\square$  д. поднимуть 250, 20  $\square$  д. —  
500 фунтовъ, а три раза 20, или 60,  $\square$  дюймовъ  
подымуть также и три раза 500 или 150 фунтовъ,  
или  $36\frac{1}{2}$  пудовъ, такъ, что для подъема 39 пу-  
довъ потребуется поршень съ площадью въ 64  $\square$   
д. Если бы машина была безъ охлажденія, то изъ  
33 фунтовъ нужно бы было отнять не 2, а 16

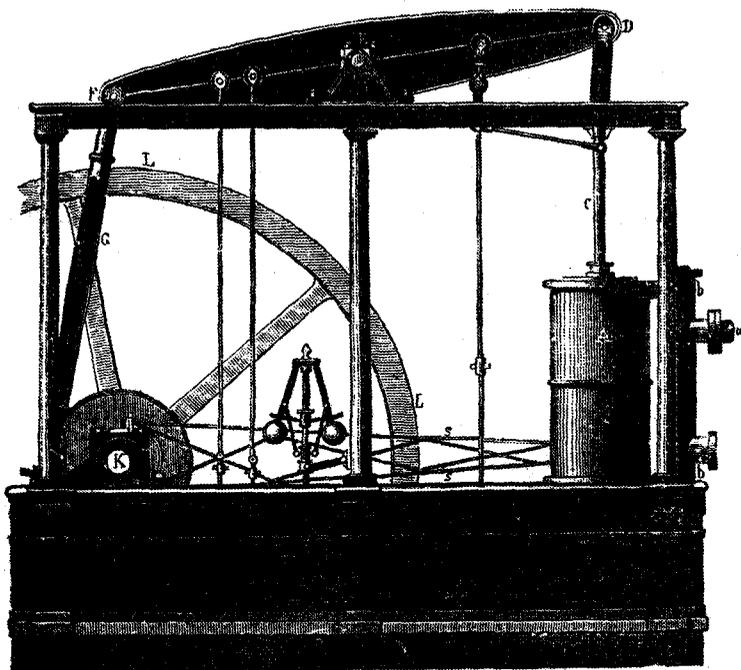
фунтовъ, тогда получили бы дѣйствительное давленіе на каждый  $\square$  дюймъ въ 17 фунтовъ, да отсчитывая изъ нихъ 2 фунта, получили бы всего 15 фунтовъ давленія, уменьшая ихъ на  $\frac{1}{8}$ , получили бы, что полезное давленіе на каждый  $\square$  дюймъ будетъ всего только 13 фунтовъ, такъ что для подъема 39 пудовъ или 1560 фунтовъ потребуется здѣсь уже около 120  $\square$  д. площади поршня.

Поэтому мы видимъ, что когда машины разныхъ системъ производятъ одну и ту же работу, и притомъ дѣйствуютъ безъ расширенія, то площадь поршня въ машинахъ низкаго давленія бѣльше, чѣмъ въ машинахъ высокаго давленія безъ охлажденія пара и еще бѣльше, чѣмъ въ машинахъ высокаго давленія съ охлажденіемъ пара; сравнимъ теперь, какое количество пару издерживаютъ всѣ три машины, при одномъ размахѣ поршня, который полагаемъ для всѣхъ машинъ одинаковымъ. Въ нашемъ примѣрѣ мы видѣли, что машина низкаго давленія съ охлажденіемъ имѣя 200  $\square$  д. площади поршня, производитъ ту же работу, какъ машина высокаго давленія съ охлажденіемъ имѣющая поршень въ 64  $\square$  дюйм, и какъ машина высокаго давленія безъ охлажденія, имѣющая поршень въ 120  $\square$  дюймовъ. Отсюда видимъ, что объемъ издерживаемый машиною низкаго давленія съ 15 ф. давленія

будетъ слишкомъ въ  $\frac{5}{3}$  раза превосходить объемъ пару издерживаемый машиною съ 33 ф. давленія безъ охлажденія, и въ  $3\frac{1}{8}$  раза бѣльше чѣмъ объемъ пару, издерживаемый машиною съ 33 ф. давленія и съ охлажденіемъ пара. Но за то паръ имѣющій 15 ф. давленія въ  $2\frac{1}{8}$  раза легче, чѣмъ паръ имѣющій 33 ф. давленія, такъ что сличая эти числа увидимъ, что на ту же работу пару по вѣсу тратится всего больше въ машинѣ высокаго давленія безъ охлажденія, меньше въ машинѣ низкаго давленія съ охлажденіемъ, и наконецъ всего менѣе въ машинѣ высокаго давленія въ охлажденіемъ пара. Поэтому машины высокаго давленія съ охлажденіемъ пара лучше другихъ не только потому, что позволяютъ болѣе расширять паръ, но онѣ представляютъ въ употребленіи пара нѣкоторую, хотя не очень большую выгоду даже и тогда, когда расширение вовсе не употребляется.

Въ пополненіе основныхъ элементарныхъ понятій, которыя мы сообщили о паровыхъ машинахъ, считаемъ необходимымъ описать классическую Ваттову машину двойнаго дѣйствія съ охлажденіемъ пара. Какъ показываетъ чертежъ 16, машина эта имѣетъ цилиндръ *A*, въ которомъ движется паровой поршень; стержень *C* этого поршня посредствомъ особаго бруска привѣшенъ къ концу *D* ко-

ромысла *ED*, ось этого коромысла укрѣплена въ *E*, и около этой оси коромысло можетъ качаться то



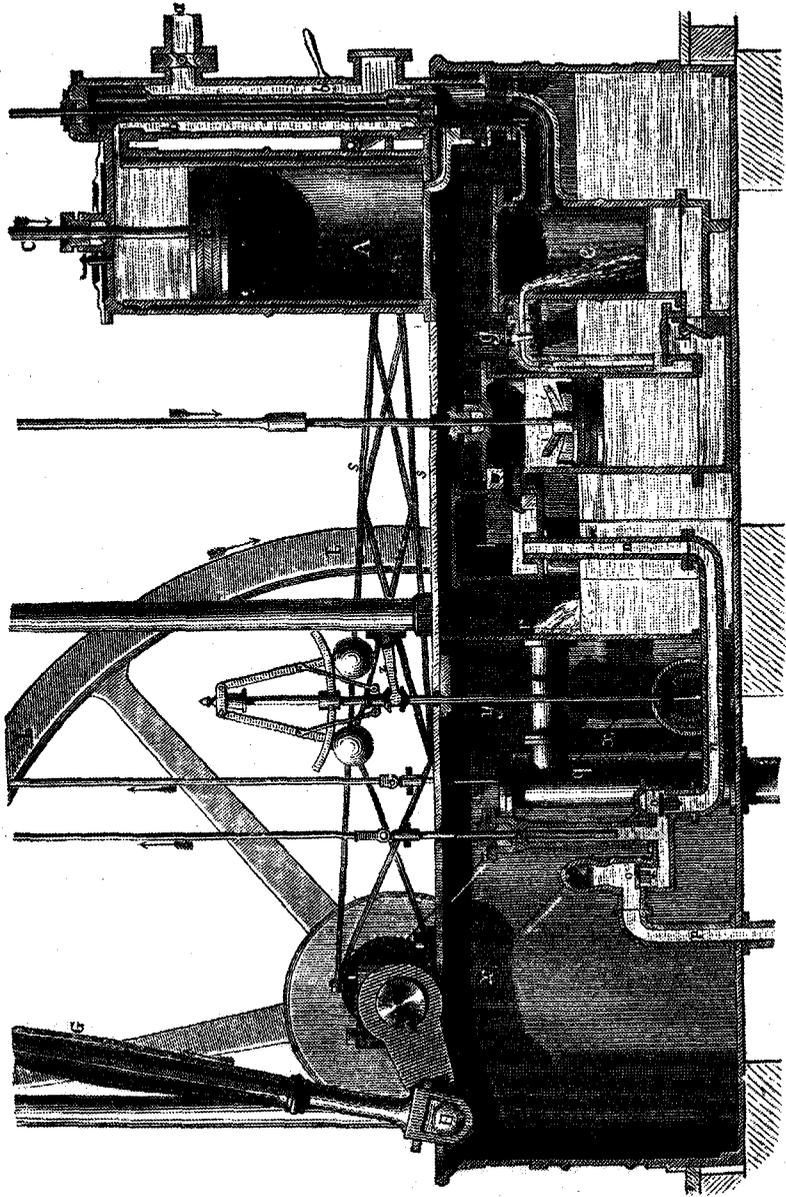
Черт. 16.

въ одну, то въ другую сторону; съ противоположнымъ концомъ *F* коромысла соединенъ шатунъ, приводящій въ движеніе кривошипъ и валъ *K*. На оси этого вала сидитъ маховое колесо *L*, служащее для уравниванія движенія и для преодоленія мертвыхъ точекъ. На оси вала *K* сидитъ эксцентрикъ, котораго штанга *s*, *s* идетъ позади цилиндра, и сдѣпляется съ однимъ изъ плечъ колѣнчатого рычага; рычагъ этотъ не видѣнъ на чертежѣ; съ помощію

его передается движеніе штангѣ золотника, которая на чертежѣ закрыта колонною; золотникъ ходитъ внутри раздѣлительной коробки *b, b*, которая двумя каналами соединяется съ верхомъ и низомъ цилиндра; понятно, какимъ образомъ при попере-мѣнномъ движеніи пароваго поршня вверхъ и внизъ. Конецъ *D* коромысла поднимается и опускается, вслѣдствіе чего коромысло другимъ концомъ *F* приводитъ въ движеніе шатунъ; шатунъ съ своей стороны передаетъ движеніе кривошину, который и вращаетъ валъ. На чертежѣ близъ средней колонны видѣнъ еще подвижной ромбъ съ двумя шарами. Это есть такъ называемый центробѣжный регуляторъ или коническій маятникъ, служащій для уравненія движенія машины. Мы въ подробности объяснимъ его дѣйствіе въ своемъ мѣстѣ.

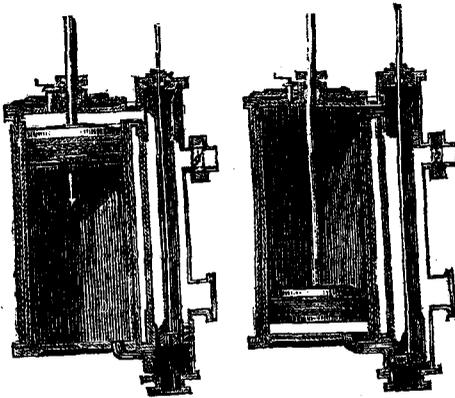
Кромѣ того на чертежѣ видны три стержня, привѣшенные къ коромыслу и приводимые имъ въ движеніе. Изъ этихъ стержней самый правый, подымающійся и опускающійся вмѣстѣ съ паровымъ поршнемъ, соединенъ съ поршнемъ такъ называемаго воздушнаго насоса; изъ двухъ другихъ тотъ, который лежитъ правѣе соединенъ съ поршнемъ насоса для холодной воды; стержень же лежащій всего лѣвѣе, идетъ къ насосу для теплої воды; расположеніе и дѣйствіе этихъ насосовъ будетъ

понятно изъ разрёза нижней части машины изображеннаго на чертежѣ 17. Здѣсь А есть также



Черт. 17.

паровой цилиндръ съ паровымъ поршнемъ *B*. Распределение пара въ цилиндрѣ производится здѣсь посредствомъ трубчатого золотника. Это есть пустая круглая или полукруглая трубка съ двумя барреттами или закраинами *c, c*, которыя движутся вдоль плоской стѣнки цилиндра, къ которой привинчена паровая коробка; все кольцеобразное пространство между наружною поверхностію золотника и внутреннею поверхностію паровой коробки сообщено съ паромъ; внутренняя же пустота золотника находится посредствомъ трубы *d* въ постоянномъ сообщеніи съ сосудомъ *e*, который и представляетъ холодильникъ. Понятно, что при томъ положеніи золотника, которое изображено на черт. 17 и 18 верхняя часть цилиндра сообщена съ котломъ, а нижняя на-



Черт. 18 и 19.

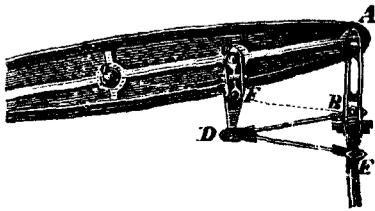
противъ того сообщена съ холодильникомъ; когда же дѣйствіемъ эксцентрика золотникъ перемѣстится и займетъ свое нижнее положеніе какъ на черт. 19, то напротивъ ниж-

няя часть цилиндра сообщится съ котломъ, а верх-

няя посредствомъ внутренней полости золотника сообщится съ холодильникомъ; такимъ образомъ паръ и будетъ попеременно измѣнять направленіе своего давленія на поршень. Холодная вода, служащая для охлажденія пара, доставляется въ холодильникъ трубою  $l$  съ краномъ  $g$ , который регулируетъ ея притокъ. Труба  $l$  нижнимъ своимъ концомъ погружается въ резервуаръ съ холодною водою, въ которомъ издерживаемая на охлажденіе пара вода постепенно пополняется изъ трубы  $T$ ; въ эту трубу она качается посредствомъ насоса холодной воды  $q$  изъ колодца, рѣки и т. п. Нагрѣтая чрезъ охлажденіе пара вода, вмѣстѣ съ воздухомъ (который всегда содержится въ водѣ и вмѣстѣ съ нею переходитъ въ охладникъ), и частью пара выкачивается изъ охладника воздушнымъ насосомъ, который отдѣленъ отъ холодильника клапаномъ  $K$ , и котораго поршень имѣетъ клапаны:  $i$ ,  $i$ . Теплая вода, выкачиваемая этимъ насосомъ, идетъ трубою  $V$  подъ поршень насоса  $m$ , который трубою  $p$  вталкиваетъ эту воду въ резервуаръ, служащій для питанія котла.

Замѣтимъ, что если бы стержень  $c$  (черт. 17) соединялся съ коромысломъ только при помощи подвижнаго на шарнерахъ бруска  $CD$ , то онъ неминуемо согнулся бы вслѣдствіе косвенныхъ дав-

лений производимыхъ на него этимъ брускомъ. Для избѣжанія этого изгиба и для направленія движенія головки стержня по прямой линіи, Ваттъ изобрѣлъ особый способъ передачи движенія отъ головки стержня къ плечу коромысла. Остроумный приборъ его извѣстенъ подь именемъ *Ваттова параллелограмма*, и состоитъ въ слѣдующемъ (черт. 20): Плечо коромысла  $OA$  раздѣлено по-



Черт. 20.

поламъ въ точкѣ  $C$ ; въ точкахъ  $A$  и  $C$  повѣшены на шипахъ равные между собою брусья  $AB$  и  $CD$ ; концы ихъ соединены между собою брускомъ

$DB$ , сочлененнымъ съ ними посредствомъ шарнировъ, такъ, что вся система представляетъ собою подвижный параллелограммъ, котораго фигура при движеніи стержня постепенно измѣняется. Вершина  $D$  этого параллелограмма притянута посредствомъ радиуса  $DE$  къ неподвижной точкѣ  $E$ , такъ, что три вершины параллелограмма  $A$ ,  $C$  и  $D$  описываютъ дуги круга, а слѣдствіемъ этихъ движеній будетъ движеніе точки  $B$ , весьма мало отличающееся отъ прямой линіи. Должно замѣтить еще, что когда т. о. направляется по прямой движеніе вершины  $B$ ,

то и движеніе точки  $F$ , лежащей по серединѣ стороны параллелограмма  $CD$ , направляется тоже по прямой линіи, а потому стержень воздушнаго насоса, какъ то видно на черт. 17, привѣшенъ не прямо къ коромыслу, а къ серединѣ стороны параллелограмма, параллельной брусу, соединяющему головку стержня съ концомъ коромысла.

---

## ЛЕКЦІЯ IV.

### Паровой молотъ. Разборъ обстоятельствъ имѣющихъ влияние на движеніе и дѣйствіе паровыхъ машинъ.

Въ послѣднее время паровыя машины простаго дѣйствія начали входить снова въ большое употребленіе не для того, правда, чтобы сообщать вращательное движеніе валу, но главнымъ образомъ съ тою цѣлію, чтобы прямо приводить въ движеніе орудія, которыя должны попеременно двигаться, то кверху, то книзу. Паровой молотъ есть важнѣйшая и получившая наиболѣе успѣха машина такого рода. Чтобы объяснить себѣ главную идею этого чрезвычайно-важнаго въ настоящее время орудія, вообразимъ себѣ вертикальный паровой цилиндръ, внутри котораго можетъ двигаться поршень, и положимъ, что со стержнемъ этого поршня соединенъ тяжелый молотъ, могущій ударять

въ наковальню. Ясно, что если верхняя часть цилиндра будетъ находиться въ постоянномъ сообщеніи съ атмосферою, а нижняя часть попеременно будетъ соединяться съ котломъ, производящимъ парь, и съ атмосферою, то въ ту пору какъ парь входитъ въ нижнюю часть цилиндра, онъ гонитъ кверху поршень и вмѣстѣ съ тѣмъ подымаетъ молотъ; но какъ скоро нижняя часть цилиндра сообщена съ атмосферою, то давленія на нижнюю и верхнюю грань поршня становятся совершенно одинаковыми, и тогда молотъ, остающійся на вѣсу и ни чѣмъ не поддержанный, падаетъ на наковальню. Если въ мгновеніе удара молота объ наковальню снова сообщимъ нижнюю часть цилиндра съ котломъ, разобщивъ ее съ атмосферою, то молотъ вмѣстѣ съ поршнемъ снова начнетъ подыматься, пока снова нижняя часть цилиндра не придетъ въ сообщеніе съ атмосферою. Тогда молотъ начнетъ снова падать, и такъ далѣе. Слѣдовательно, все дѣло состоитъ здѣсь въ томъ, чтобы сообщать попеременно нижнюю часть цилиндра съ котломъ и съ атмосферою. Можно бы было производить это сообщеніе и руками; такъ и думалъ дѣлать Джемсъ Ваттъ, который первый взялъ въ 1784 г. привиллегію на паровой молотъ; Вилльямъ Деверелль въ 1806 г. получилъ привил-

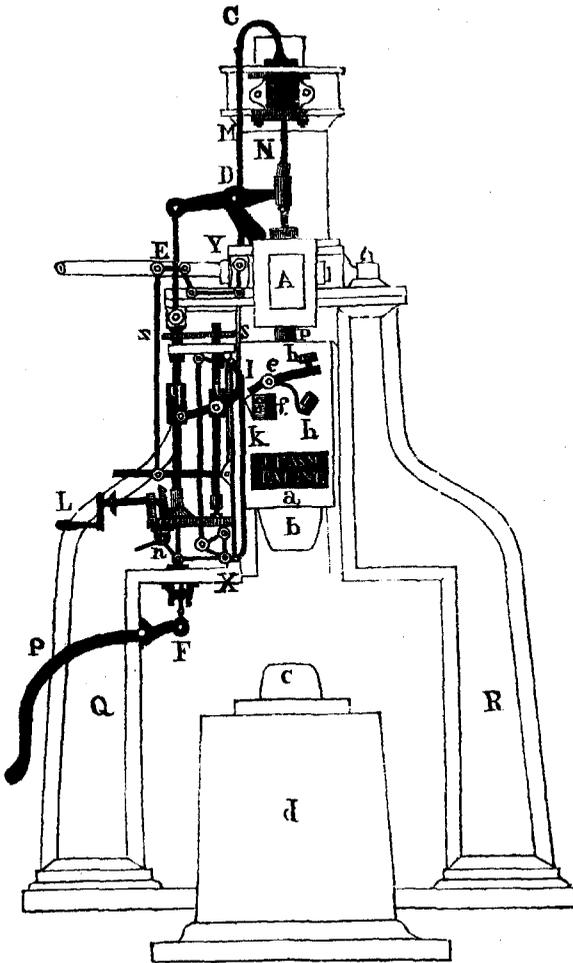
легію на ту же идею, какъ и Ваттъ. Насмиту принадлежитъ честь устройства пароваго молота въ видѣ самодѣйствующей машины, — которая сама собственнымъ своимъ движеніемъ производитъ распределение пара. Это замѣчательное улучшение, соединенное съ возможностью регулировать подъемъ и опусканіе молота, довели паровой молотъ до той степени совершенства, на которой онъ безопасно и съ огромною пользою служитъ самымъ многоразличнымъ цѣлямъ промышленности; правильность движенія, которую успѣлъ сообщить Насмитъ паровому молоту такъ велика, что одинъ и тотъ же огромный молотъ отковываетъ громадныя валы около полуаршина въ діаметръ, и свариваетъ желѣзныя полосы, едва имѣющія толщину въ одинъ дюймъ. Все дѣло въ устройствѣ такого молота состояло главнымъ образомъ въ рѣшеніи двухъ задачъ, относительно распределения пара. Требовалось устроить распределительный приборъ такъ, чтобы:

1) Сообщение пара съ нижнею частью цилиндра устанавливалось въ то самое мгновеніе, когда молотъ ударяется въ вещь лежащую на наковальнѣ и подвергающуюся отковкѣ.

2) Сообщение нижней части цилиндра съ котломъ должно прекращаться и должно начинаться сообщеніе ея съ атмосферою въ то время, какъ мо-

лотъ поднялся на известную высоту, которую бы можно было измѣнять по произволу машиниста.

Чертежи 21 и 22 даютъ понятіе о средствахъ, ко-

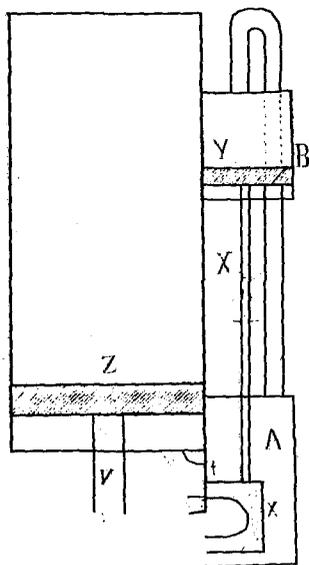


Черт. 21.

торья были употреблены Насмитомъ для этой цѣли. На черт. 21 *М* есть паровой цилиндръ, внутри кото-

раго можетъ двигаться паровой поршень со своимъ стержнемъ  $P$ ; на концѣ этого стержня утверждена большая чугунная масса  $a$ , могущая находящимися съ боковъ ея вырѣзками скользить по гладко обструганнымъ вертикальнымъ рельсамъ, выдѣланнымъ на станинахъ  $Q$ ,  $R$ ; станины эти въ то же время служатъ опорой для пароваго цилиндра. Съ чугуною бабою  $a$  соединенъ желѣзный, закаленный на нижнемъ концѣ молотъ  $b$ , могущій ударяться въ наковальню  $c$ , и отковывать лежація на ней вещи. На бабѣ  $a$  утверждена упорка  $k$ , которая задѣваетъ при восходящемъ движеніи своемъ за плечо  $l$  рычага  $lpq$ , могущаго вращаться около неподвижной оси  $p$ , и тѣмъ, какъ увидимъ, производить сообщеніе нижней части цилиндра съ атмосферой, разобщая ее съ котломъ. Кроме-того, на этой же чугунной бабѣ находится ось рычага  $e$ , могущаго около нея вращаться; плечо  $e$  этого рычага длиннѣе и тяжеле другаго плеча, такъ, что оно постоянно стремится опуститься, но удерживается въ своемъ положеніи пружиною  $f$ , подпирающею его снизу; подъемъ и спускъ этого рычага ограничены выступами  $h$  и  $h$ . Замѣтимъ, что когда плечо  $e$  этого рычага станемъ опускать книзу, то противоположное его плечо поднимается; при этомъ оно давитъ на желѣзную полосу, иду-

щую вдоль края лѣвой станины и удаляетъ ее отъ этого края. Эта полоса горизонтальнымъ концомъ своимъ соединена съ особымъ рычагомъ, котораго вертикальное плечо *n* при давленіи рычага *e* на полосу отклоняется влѣво, при чемъ сгибается особую пружину, постоянно надавливающую это плечо вправо. *A* есть коробка, во внутрь которой паръ приводится изъ котла трубою *N*; внутри этой коробки можетъ скользить, двигаясь вверхъ и внизъ, золотникъ *X*, изображенный на черт. 22,



Черт. 22.

представляющемъ собою существенныя части распределительнаго прибора. Изъ чертежа видно, что паровая коробка сообщена каналами *t* и *u* съ цилиндромъ и съ атмосферою; золотникъ *X* попеременно то соединяющій, то разъединяющій эти каналы, укрѣпленъ къ стержню *N*, внутри котораго оставлено отверстіе *n*; въ это отверстіе входитъ конецъ рычага *D*, къ которому привѣ-

шена тяга *EF* (пред. черт.); какъ-скоро потянемъ внизъ эту тягу, плечо рычага *D* подыметъ, под-

ниметь съ собою золотникъ  $X$ , и поршень  $Y$  сидящій на томъ же стержнѣ  $N$ ; слѣдствіемъ этого подъема будетъ то, что золотникъ сообщитъ между собою паровой каналъ  $t$  цилиндра и пароотводную трубу  $u$ , а коль-скоро перестанемъ тянуть книзу тягу  $EF$ , то паръ, прибывающій на поршень  $Y$  изъ паровой коробки черезъ трубу  $C$ , давленіемъ своимъ заставитъ золотникъ опуститься, и занять положеніе, какъ изображено на черт. 22-мъ.

Вотъ главнѣйшія части пароваго молота Насмита, необходимыя для самодѣйствующаго расиределенія въ немъ пара. Разсмотримъ теперь его движеніе изъ самаго нижняго положенія; для этого пусть золотникъ находится въ томъ положеніи, какъ на черт. 22. Паръ входитъ въ нижнюю часть цилиндра и гонитъ поршень вмѣстѣ съ молотомъ кверху; это восходящее движеніе молота продолжается до тѣхъ поръ, пока упорка  $k$  не встрѣтитъ собою плеча  $l$  рычага  $lpq$ ; встрѣтивши же его, она поднимаетъ его кверху, опуская противоположное плечо  $q$ , которое, какъ видно на чертежѣ, соединено съ гайкою, надѣтою на винтъ наръзанный въ серединѣ тяги  $EF$ ; тяга, вслѣдствіе давленія производимаго гайкою, опускается, и плечо рычага  $D$ , входящее въ раму  $n$  (черт. 22), подымается; подымается также золотникъ  $X$  вмѣстѣ съ порш-

немъ  $Y$ ; а какъ-скоро золотникъ подыметъ до того, что каналъ  $t$  сообщится съ пароотводною трубою  $u$ , то паръ изъ-подъ поршня устремится въ эту трубу и оттуда въ атмосферу; поршень побуждаемый вѣсомъ молота начинаетъ падать и постепенно ускоряетъ свое движеніе; но еслибы все устройство молота этимъ ограничивалось, то паденіе молота въ скоромъ времени остановилось бы; ибо какъ-только упорка  $k$ , по мѣрѣ постепеннаго своего пониженія, будетъ освобождать плечо  $l$  рычага  $lpg$ , паръ давленіемъ своимъ на поршень  $Y$  станеть понижать золотникъ  $X$  и снова приведетъ цилиндръ въ сообщеніе съ котломъ; чтобы этого не случилось, тяга  $EF$  на нижнемъ своемъ концѣ имѣетъ видный на черт. 21 выступъ, который при пониженіи тяги приходитъ на такую высоту, что на него можетъ упереться плечо  $n$ , которое, какъ было выше сказано, нажимается вправо, т. е. къ тягѣ  $EF$  особою пружиною. Какъ-скоро это зацепленіе произошло, то, очевидно, золотникъ приведенный въ сообщеніе паровой каналъ  $t$  съ пароотводною трубою  $u$ , остается въ этомъ положеніи до тѣхъ поръ, пока плечо  $n$  какимъ бы то ни было образомъ не будетъ снято съ нижняго выступа тяги  $EF$ , на который оно опирается, — и слѣд. молотъ совершенно свободно падаетъ; но лишь-только

онъ ударится о желѣзо, находящееся на наковальнѣ, то движеніе молота почти мгновенно будетъ остановлено; плечо *e* рычага, укрѣпленнаго на чугунной бабѣ *a*, не остановится однако тотчасъ вмѣстѣ съ молотомъ; съ этимъ плечомъ случится то же самое, что случается съ нашимъ тѣломъ, когда быстро движущійся экипажъ вдругъ останавливается; всякому извѣстно, что наше тѣло продолжаетъ еще двигаться по тому же направленію, по которому двигался экипажъ, и въ случаѣ если изъ быстрого движенія онъ почти мгновенно останавливается, то мы падаемъ впередъ съ большою скоростью; то же самое случается и съ плечомъ *e* рычага, находящагося на чугунной массѣ *a*; онъ падаетъ внизъ, сгибая пружину *f*; при этомъ другое короткое и болѣе легкое плечо его поднимается, ударяетъ въ узкую полосу, идущую по лѣвому краю станины, и отодвигаетъ ее влѣво; плечо *n*, съ которымъ соединенъ горизонтальный край этой полосы, то же отодвигается влѣво, и освобождаетъ нижній выступъ находящійся на тягѣ *EF*; а коль скоро онъ дѣлается свободнымъ, то давленіе пара на поршень *У* получаетъ свое дѣйствіе, опускаетъ его, причемъ поднимается тяга *EF*, и опускается золотникъ *X*, такъ, что паръ снова можетъ входить въ нижнюю часть цилиндра, и давленіемъ своимъ

на поршень  $Z$  побуждаетъ его и молотъ двигаться кверху; что же касается до рычага  $e$ , то онъ, ударившись въ нижній выступъ  $h$ , отъ него отражается, и совокупнымъ дѣйствиемъ этого отраженія и пружины  $f$  приподымается опять, пока снова не упрется въ выступъ  $h$ . Это движеніе рычага  $e$  совершается столь быстро, что оно совершенно незамѣтно для самаго внимательнаго наблюдателя; такимъ образомъ самъ молотъ падая освобождаетъ тягу  $EF$  отъ зацѣпки  $n$ , удерживавшей золотникъ въ томъ положеніи, при которомъ онъ сообщалъ нижнюю часть цилиндра съ атмосферою, и допускалъ паденіе молота.

Изъ предъидущаго понятно, что молотъ можетъ подниматься только до извѣстной высоты, зависящей отъ положенія рычага  $lpq$ . Чтобы можно было эту высоту подъема, а слѣд. и силу удара, увеличивать и уменьшать по произволу, очевидно нужно только имѣть средство подвигать вверхъ и внизъ рычагъ  $lpq$ . Для этой цѣли ось рычага  $lpq$  укрѣплена въ гайкѣ, которую можно вращая винтъ  $spr$  подвигать кверху и книзу, но чтобы рычагъ  $lpq$ , измѣняя свое положеніе, сохранялъ постоянно одно и то же направленіе, его конецъ  $q$ , какъ мы уже говорили, соединенъ съ гайкою надѣтою на винтъ нарѣзанный по срединѣ тяги  $EF$ ;

близъ нижняго конца этой тяги находится маленькое зубчатое колесо, которое приводится въ движеніе другимъ зубчатымъ колесомъ, сидящимъ на горизонтальномъ валѣ, который можно приводить въ обращеніе рукояткою  $L$ . Если мы станемъ вращать этотъ валъ, то винтъ нарезанный на тягѣ  $EF$  придетъ въ обращеніе; зубчатое колесо  $r$ , зацѣпляя за зубцы  $s$  колеса сидящаго на другомъ винтѣ, и его, приведетъ въ обращеніе; гайки  $p$  и  $q$ , которыя не могутъ вращаться вмѣстѣ съ винтами (ибо соединены между собою плечомъ  $pq$  рычага  $lprq$ ), станутъ опускаться или подыматься, а слѣд. и весь рычагъ будетъ опускаться или подыматься, черезъ что подъемъ молота, и слѣд. сила производимаго имъ удара, будетъ увеличиваться или уменьшаться. На чертежѣ можно еще замѣтить, что съ нижнимъ концомъ  $F$  тяги  $EF$  соединена особая рукоятка, дѣйствуя которою можно поднимать и опускать тягу, а слѣд. и золотникъ  $X$ , руками. Рукоятка эта служитъ для управленія машиною въ случаѣ нужды, руками.

Большіе молоты (отъ 200 до 300 пудовъ) этой системы дѣлаютъ обыкновенно около 60—70 ударовъ въ минуту, малые молоты (отъ 6 до 60 пудовъ) 80, 90 и даже 100 ударовъ въ минуту. Паръ для ихъ дѣйствія готовится при 5 ат-

мосферахъ давленія; площадь поршня, составляющая для малыхъ молотовъ въ 6 пудовъ, только  $12\frac{1}{2}$  □ дюймовъ (слѣд. діаметръ цилиндра будетъ въ 4 д.) доходитъ до 230 □ дюймовъ (діаметръ цилиндра съ небольшимъ 17 дюймовъ), въ случаѣ молотовъ въсящихъ около 250 пудовъ; для молотовъ въ 120 пудовъ площадь поршня составляетъ около 165 □ дюймовъ (діаметръ цилиндра  $14\frac{3}{4}$  дюйм.).

Эти паровые молоты принесли чрезвычайную пользу машинному дѣлу; отковка огромныхъ желѣзныхъ вещей, часто необходимыхъ для машинъ (особенно пароводныхъ), сдѣлалась при ихъ помощи весьма легкою и вполне удовлетворительною.

Въ заключеніе статьи о парѣ, какъ движитель, постараемся разобрать важнѣйшія обстоятельства, имѣющія вліяніе на ходъ и дѣйствіе паровыхъ машинъ. Для этого мы постараемся, основываясь на самыхъ простыхъ механическихъ понятіяхъ, вывести основныя положенія теоріи паровыхъ машинъ, въ томъ видѣ, какъ они были предложены Памбуромъ. Для этого вообразимъ паровой поршень могущій ходить въ цилиндрѣ; ясно, что на него дѣйствуютъ съ одной стороны давленіе пара на переднюю сторону поршня, стремящееся увеличить его скорость, съ другой стороны полезныя и вредныя сопротивленія, замедляющія его движеніе;

если машина приводитъ въ движеніе, напримѣръ, насосы поднимающіе воду, то вѣсъ воды, поднимаемой ими, будетъ полезное сопротивленіе преодолѣваемое машиною; треніе же органовъ машины, посредствомъ которыхъ совершается передача движенія насосамъ, треніе самаго поршня о стѣнки цилиндра, давленіе оказываемое паромъ или воздухомъ на заднюю сторону поршня и т. п., будутъ вредныя сопротивленія. Всѣ эти сопротивленія можно себѣ представить, какъ силу, дѣйствующую на заднюю сторону поршня въ направленіи прямо противномъ давленію пара на переднюю его сторону. Поршень подъ вліяніемъ этихъ силъ движется, — и притомъ такъ, что въ началѣ и въ концѣ каждаго своего размаха останавливается, то есть его скорость обращается въ нуль; ясно поэтому, что скорость поршня начиная отъ начала размаха постепенно увеличивается, достигаетъ нѣкоторой наибольшей величины, наприм. 8 футовъ въ секунду, близъ середины размаха, и затѣмъ снова уменьшается для того, чтобы въ концѣ размаха обратиться въ нуль; изъ этого слѣдуетъ, что въ теченіе первой половины размаха упругость пара, давящая на поршень и приводящая его въ движеніе, на столько превосходитъ сопротивленія приложенныя къ поршню, что сообщаетъ ему скорость въ 8 футовъ;

въ теченіе же второй половины размаха сопротивленія, дѣйствующія на поршень, на столько больше упругости пара, приводящей его въ движеніе, что они отнимаютъ у поршня полученную имъ прежде скорость въ 8 футовъ; слѣдовательно, избытокъ упругости пара надъ сопротивленіями въ первую половину размаха поршня, въ состояніи сообщить ему скорость въ 8 футовъ, а избытокъ сопротивленій надъ упругостью пара во вторую половину размаха, въ состояніи отнять у поршня эту скорость въ 8 футовъ или что то же, сообщить ему въ противномъ направленіи скорость въ 8 футовъ. Изъ этого ясно, что на сколько упругость пара превосходитъ напряженіе сопротивленій въ первую половину размаха, на столько же это послѣднее болѣе упругости пара во вторую половину размаха, такъ, что если возьмемъ среднюю величину какъ упругости пара, такъ и напряженія сопротивленій, то увидимъ, что *среднее давленіе пара въ рабочей части цилиндра равно средней величинѣ всѣхъ сопротивленій, представляемыхъ въ видѣ силы замедляющей движеніе поршня.*

Вотъ первое весьма простое и существенное положеніе Памбуровой теоріи; оно показываетъ, что упругость, а слѣд. и плотность, пара въ цилиндрѣ ходящей паровой машины зависитъ не отъ

того давленія, при которомъ парь готовится въ котлѣ, но отъ сопротивленій, которыя поршень встрѣчаетъ въ своемъ движеніи. Чѣмъ больше эти сопротивленія, тѣмъ больше упругость, а слѣд. и плотность пара въ цилиндрѣ, хотя не должно думать, чтобы чрезъ увеличеніе сопротивленій упругость пара внутри цилиндра могла быть увеличиваема безпредѣльно. На самомъ дѣлѣ, если парь въ котлѣ имѣетъ давленіе въ 5 атмосферъ, то ясно, что внутри цилиндра онъ можетъ имѣть давленіе меньше, чѣмъ въ 5 атмосферъ, но большаго давленія имѣть не можетъ; чтобы получить большее давленіе, парь долженъ возвысить свою температуру, но по выходѣ изъ котла онъ уже не находится въ прикосновеніи съ источникомъ теплоты, слѣд. и его температура возвыситься не можетъ. Изъ этого видно, что давленіе, при которомъ готовится парь внутри котла, не имѣетъ вліянія на давленіе внутри цилиндра, но составляетъ собою крайній верхній предѣль, до котораго можетъ достигнуть это послѣднее давленіе, средняя величина котораго, какъ было замѣчено, равна средней величинѣ сопротивленій представляющихся движенію поршня. Разсужденія, посредствомъ которыхъ мы достигли этого положенія, очевидно останутся вѣрны, если наибольшая скорость поршня будетъ не

8 футовъ, какъ мы предположили, а составить собою 3 5, 10, 100 футовъ; постараемся же найти, отъ чего будетъ зависѣть эта наибольшая величина скорости поршня, или, что для насъ еще важнѣе, чѣмъ будетъ опредѣляться срдняя скорость поршня, которая въ практикѣ играетъ роль болѣе значительную, чѣмъ наибольшая его скорость; для этого возьмемъ машину, ходящую при извѣстныхъ сопротивленіяхъ, и положимъ, что въ ней ежеминутно доставляется 40 фунтовъ пара изъ котла въ цилиндръ; положимъ, кромѣ-того, что поршень совершаетъ при этомъ въ минуту 40 размаховъ; значить черезъ цилиндръ пройдетъ въ минуту объемъ пара равный 40 объемамъ цилиндра, а какъ всѣхъ этого пара есть 40 фунтовъ, то значить, что при данныхъ сопротивленіяхъ, паръ принимаетъ въ рабочей части цилиндра такую плотность, что на наполненіе цѣлаго цилиндра требуется 1 фунтъ пара. Замѣтимъ это, и оставимъ дѣйствовать на машину тѣ же сопротивленія, а увеличимъ только вдвое всѣхъ пара притекающаго въ цилиндръ, т. е. положимъ, что ежеминутно доставляется въ цилиндръ изъ котла, не 40, а 80 фунтовъ и посмотримъ, что случится съ машиною; съ самаго начала ясно, что плотность пара протекающаго черезъ цилиндръ не станетъ ни чуть больше; дѣй-

ствительно, средняя упругость пара въ рабочей части цилиндра, по выведенному выше, равна средней величинѣ сопротивленій; сопротивленія остались тѣ же, слѣдовательно и средняя упругость пара не измѣнилась, — упругость же и плотность пара находятся въ необходимой между собою зависимости, — откуда и заключаемъ, что плотность пара, теперь протекающаго черезъ цилиндръ, осталась та же, что была прежде; и такъ при этихъ новыхъ обстоятельствахъ, въ которыя поставлена машина, паръ въ ней будетъ опять имѣть такую плотность, что на наполненіе цилиндра пара требуется тоже 1 фунтъ; но пара доставляется ежеминутно 80 фунтовъ; для его помѣщенія очевидно нужно 80 объемовъ цилиндра, слѣдовательно, при этихъ новыхъ обстоятельствахъ поршень долженъ будетъ сдѣлать уже не 40, какъ прежде, а 80 размаховъ въ минуту.

Съ другой стороны, оставимъ количество пара притекающаго ежеминутно изъ котла въ цилиндръ по-прежнему 40 фунтовъ, а увеличимъ вдвое полезныя сопротивленія, дѣйствующія на поршень, на примѣръ заставимъ его подымать воду посредствомъ двадцати насосовъ вмѣсто десяти; упругость пара въ цилиндрѣ должна сдѣлаться больше: ибо она равна суммѣ сопротивленій, а сопро-

тивленія увеличились; но она сдѣлается не вдвое больше; на самомъ дѣлѣ правда, что полезныя сопротивленія увеличились вдвое, но многія вредныя сопротивленія, какъ то: треніе поршня о стѣнки цилиндра, давленіе на заднюю сторону поршня и т. п. въ обоихъ случаяхъ остались тѣ же. Положимъ, для примѣра, что упругость пара сдѣлалась въ  $1\frac{1}{2}$  раза больше противъ прежней; его плотность тоже увеличилась, и протомъ также почти въ  $1\frac{1}{2}$  раза, а слѣд. теперь для наполненія цилиндра потребуется уже не 1, а  $1\frac{1}{2}$  фунта пара, и слѣд. поршень сдѣлаетъ уже въ минуту не 40, какъ прежде, размаховъ, издерживая 40 фунтовъ пара, а только 27. Если сообразимъ все, что сказано до сихъ поръ, то безъ труда увидимъ, что средняя скорость поршня въ каждой машинѣ зависитъ отъ двухъ причинъ: отъ количества доставляемаго ей въ минуту пара, и отъ величины полезныхъ сопротивленій, или, если угодно, отъ давленія пара въ рабочей части цилиндра (потому что какъ только даны сопротивленія, то извѣстно и это давленіе пара, а равно и на оборотъ, когда дано давленіе пара въ рабочей части цилиндра, то опредѣлены полезныя сопротивленія; ибо, какъ замѣчено выше, сумма сопротивленій равна среднему давленію пара). Увеличивая количество пара

доставляемаго въ цилиндръ, мы увеличиваемъ скорость машины, которая становится вдвое больше, когда количество пара вдвое больше и т. д. Увеличивая полезныя сопротивленія, мы уменьшаемъ скорость поршня, но здѣсь, когда полезныя сопротивленія становятся вдвое больше, то скорость поршня становится меньше, но не вдвое; въ предъидущемъ примѣрѣ эта скорость при двойномъ полезномъ сопротивленіи уменьшилась только въ  $1\frac{1}{2}$  раза, поршень вмѣсто 40 размаховъ въ минуту сталъ ихъ дѣлать не 20, а 27. Изъ этого видно, что издерживая въ минуту одно и то же количество пара, слѣдовательно тратя то же количество топлива, мы можемъ двигать машину и скоро и медленно; когда полезныя сопротивленія велики, когда машина *сильно нагружена*, она идетъ медленно; напротивъ, когда сопротивленія преодолеваемые машиною невелики, то она идетъ скоро. Вопросъ состоитъ въ томъ, что для насъ выгоднѣе — скорый или медленный ходъ машины?

Чтобы рѣшить этотъ вопросъ, положимъ, что наша машина производитъ какую ни есть определенную работу, напримѣръ поднимаетъ воду. Положимъ, что сначала, когда машина дѣлала 40 размаховъ поршня въ минуту, мы приводили эту машиною въ движеніе 10 насосовъ, изъ которыхъ

каждый при одномъ размахѣ поршня поднималъ 3 пуда воды на высоту 15 фут., а слѣд. всѣ вмѣстѣ поднимали 30 пудовъ воды на 15 футовъ; такъ-какъ машина дѣлала 40 размаховъ въ минуту, то очевидно, польза, которую она намъ приноситъ, будетъ состоять въ подъемѣ на 15 футовъ 1,200 пудовъ воды въ минуту; затѣмъ мы начали работать 20-ью такими же насосами (удвоили полезныя сопротивленія). При каждомъ размахѣ поршня теперь мы поднимаемъ на 15 футовъ уже не 30, какъ прежде, но 60 пудовъ воды; но какъ машина въ минуту дѣлаетъ 27 размаховъ, то очевидно, польза ею приносимая будетъ измѣряться подъемомъ въ минуту на 15 футовъ, 27 разъ 60 пудовъ или 1,620 пудовъ воды; во второмъ случаѣ, когда машина ходитъ медленнѣе съ большимъ грузомъ, она приноситъ очевидно больше пользы. Если станемъ разбирать отчего это произошло, то увидимъ, что причина бѣльшаго полезнаго дѣйствія машины ходящей съ бѣльшимъ грузомъ состоитъ въ томъ, что когда полезныя сопротивленія увеличились вдвое, то скорость машины стала меньше, но не въ два, а только въ полтора раза. Еслибы машина, приводя въ движеніе 20 насосовъ вмѣсто 10, стала дѣлать 20, а не 27 размаховъ поршня вмѣсто 40, то очевидно, было бы все равно—работать ли

20-ью или 10-ью насосами; въ обоихъ случаяхъ мы поднимали бы на 15 футовъ 1,200 пудовъ воды.

Разсуждая подобнымъ же образомъ далѣе найдемъ, что вообще, чѣмъ больше полезныя сопротивленія, и чѣмъ вслѣдствіе того меньше скорость машины, тѣмъ больше польза приносимая ею при тѣхъ же издержкахъ по ея содержанію. Но очевидно, увеличеніе полезныхъ сопротивленій машины имѣетъ нѣкоторый предѣлъ: ибо можно нагрузить машину наконецъ такъ, что она вовсе ходить не станетъ и паръ, вмѣсто-того чтобы идти изъ котла въ цилиндръ подыметъ предохранительный клапанъ котла и выйдетъ въ воздухъ. Нельзя-ли найти этого предѣла? Вопросъ рѣшается весьма просто посредствомъ сдѣланнаго выше замѣчанія, что давленіе пара въ рабочей части цилиндра равно суммѣ сопротивленій, и притомъ не можетъ быть больше давленія въ котлѣ; слѣд. полезныхъ сопротивленій нельзя увеличивать безъ конца: наибольшая ихъ величина (при которой машина доставляетъ наибольшую пользу) будетъ подчинена тому условію, что чрезъ сложеніе съ вредными сопротивленіями дастъ сумму равную давленію пара въ котлѣ.

Эта наибольшая величина полезнаго дѣйствія, конечно никогда не можетъ быть достигнута на практикѣ; во-первыхъ потому, что паръ, переходя

изъ котла въ цилиндръ, встрѣчаетъ разныя сопротивленія, на преодоленіе которыхъ теряетъ часть своей упругости, а во-вторыхъ и потому, что если-бы мы заставили машину ходить съ наибольшимъ грузомъ, который она можетъ поднять, то случайная прибавка какого-нибудь посторонняго сопротивленія могла бы остановить машину; поэтому когда рассчитываютъ размѣры машины, назначенной къ производству извѣстной работы, то должно считать, что давленіе въ цилиндрѣ при нормальной работѣ машины не равно давленію въ котлѣ, но меньше его на какую-нибудь часть, величина которой опредѣляется отчасти благоразуміемъ и осторожностью строителя, а отчасти и условіями, при которыхъ должна дѣйствовать машина; отсюда и видно, что машины, устроенныя для производства извѣстной работы, — въ дѣйствительности могутъ производить большую работу, издерживая то же количество пара, а слѣд. и топлива, или какъ говорятъ обыкновенно, что нарицательная (номинальная) сила паровой машины всегда ниже дѣйствительной ея силы. Замѣтимъ, что для удобства сравненія паровыхъ машинъ между собою, нормальную работу, которую онѣ могутъ производить, выражаютъ обыкновенно въ такъ-называемыхъ лошадиныхъ силахъ, причѣмъ

принимается, что лошадь можетъ поднимать въ секунду 10 пудовъ на высоту въ  $1\frac{1}{2}$  фута; слѣд. двѣ лошади могутъ поднимать 20 пудовъ на  $1\frac{1}{2}$  фута или 10 пудовъ на 3 фута и т. д. Если мы возьмемъ ту машину, которую разсматривали выше, то она, дѣлая 40 размаховъ въ минуту, поднимаетъ въ минуту 1,200 пудовъ воды на 15 футовъ, слѣд. въ секунду 20 пудовъ на ту же высоту; а какъ на подъемъ каждаго пуда на 15 футовъ втеченіи секунды нужна работа, называемая лошадиною силою, то, очевидно, наша машина будетъ работать съ 20 лошадиными силами. Въ случаѣ же, когда машина дѣлаетъ только 27 размаховъ въ минуту, она поднимаетъ въ минуту 1,620 пудовъ (а слѣдовательно въ секунду 27 пудовъ) на 15 футовъ и потому работаетъ съ 27 лошадиными силами.

---

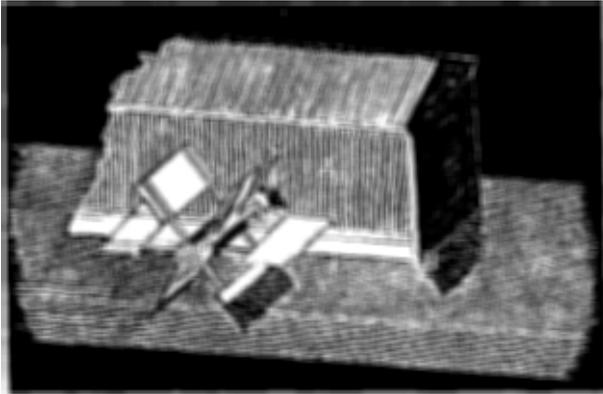
## ЛЕКЦІЯ V.

### Водяныя колеса.

На предъидущихъ лекціяхъ мы разобрали главнѣйшіе, употребляемые нынѣ промышленностію способы для приведенія въ движеніе машинъ посредствомъ пара, т. е. воды, обращенной въ упругую жидкость. Теперь мы займемся простѣйшими средствами, которыя употребляются для того, чтобы воспользоваться водою прямо въ качествѣ движителя.

Самое простое употребленіе воды въ качествѣ движителя, встрѣчается безъ-сомнѣнія въ такъ-называемыхъ висячихъ или судовыхъ колесахъ. Вообразимъ себѣ, что на текущемъ потокѣ не вдалекѣ отъ берега мы поставили барку наякорѣ или вбили сваи и настлали на нихъ помостъ; затѣмъ, укрѣпивъ одинъ конецъ вала на берегу, а другой на помостѣ, придѣлали къ валу нѣсколько расхо-

дящихся во всѣ стороны отъ его оси лопатокъ или перьевъ (черт. 23), и расположили валъ на



Черт. 23.

такой высотѣ надъ водою, что двѣ, три или четыре нижнія лопатки погружены въ воду; вода бьетъ въ эти лопатки, производитъ на нихъ известное давленіе, валъ начинаетъ обращаться, и вслѣдствіе этого обращенія, лопатки, которыя были погружены въ воду, выходятъ изъ нея, а въ воду погружаются новыя лопатки, и такъ далѣе. Это есть безъ-сомнѣнія весьма простой и дешевый способъ пользоваться водою для приведенія въ движеніе машинъ, но зато онъ доставляетъ и весьма мало пользы; на самомъ дѣлѣ, очевидно, вода лишь въ небольшомъ количествѣ ударяетъ въ лопатки колеса; большая ея часть протекаетъ совершенно даромъ, не принося ни малѣйшей пользы;

кромѣ-того естественная скорость текучихъ водъ, употребляемыхъ здѣсь для нашей цѣли, вообще весьма невелика, а потому и ударъ, который онѣ производятъ на лопатки колеса, весьма незначителенъ; чтобы, не увеличивая безмѣрно колеса, увеличить количество дѣйствующей на него воды, и въ то же время усилить ударъ, производимый водою на колесо, очевидно нужно стараться:

1) Уменьшить по возможности поперечное сѣченіе потока, и

2) Увеличить его скорость.

Для рѣшенія обѣихъ этихъ задачъ разберемъ отъ чего зависитъ скорость воды, и величина поперечнаго сѣченія въ потокѣ; мы замѣчаемъ вообще, что вода, подобно твердымъ тѣламъ, если не подперта ничѣмъ, то падаетъ на землю по вертикальному направлению, и притомъ чѣмъ съ бѣльшей высоты она падаетъ, тѣмъ скорѣе движется и тѣмъ сильнѣе ударъ, который она производитъ; если она вслѣдствіе какихъ бы то ни было препятствій не можетъ спускаться прямо по отвѣсному направлению, то течетъ внизъ по наибольшему уклону, который ей представляется; при этомъ мы замѣчаемъ, что если скатъ, какъ обыкновенно бываетъ въ началѣ потоковъ, довольно крутъ, то вода принимаетъ въ концѣ его значительную скорость; за-

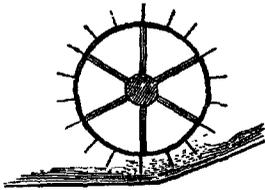
тѣмъ, когда скать становится болѣе отлогимъ, то вода мало-по-малу начинаетъ замедлять свое движеніе, такъ — что если значительное паденіе воды совершается на небольшомъ горизонтальномъ протяженіи, то вода при концѣ паденія имѣетъ гораздо болѣе большую скорость, чѣмъ въ началѣ; а если то же самое паденіе растянуто на большое горизонтальное разстояніе, то скорость, которую имѣетъ вода въ концѣ его, можетъ быть даже меньше той, которую она имѣла въ началѣ. Не станемъ входить въ объясненіе этого явленія; для насъ довольно, что оно существуетъ, — и мы постараемся имъ воспользоваться для нашихъ цѣлей, для усиленія дѣйствія колеса. Но замѣтимъ напередъ, что явленіе это вполнѣ объясняетъ намъ, какъ то, почему въ ровныхъ низменныхъ странахъ скорость текучей воды вообще довольно незначительна, такъ и то, почему горные потоки, спускаясь въ низменные страны, и даже не принимая въ себя никакихъ притоковъ, получаютъ вообще болѣе поперечное сѣченіе, чѣмъ то, какое имѣли въ горахъ, — хотя воды собственно въ низменныхъ странахъ ежесекундно протекаетъ черезъ каждое поперечное сѣченіе потока меньше, чѣмъ въ горахъ (часть этой воды испаряется, а другая просачивается въ грунтъ); причина этого увеличенія

поперечнаго сѣченія и состоитъ въ постепенномъ замедленіи воды отъ незначительности ската, по которому она движется. Если вода въ горахъ проходитъ 30 футовъ въ секунду, то 150 куб. ея футовъ протекутъ въ секунду черезъ поперечное сѣченіе въ 5 □ футовъ; а если пришедши въ низменную страну, она проходитъ только 3 фута въ секунду, то для протеканія въ секунду тѣхъ же 150 кубическихъ футовъ, потребуется уже поперечное сѣченіе не въ 5, а въ 50 □ футовъ.

И такъ мы видимъ, что какъ значительная величина поперечныхъ сѣченій, такъ и малая скорость потоковъ въ низменныхъ странахъ (сравнительно съ горами) находится въ связи съ однимъ и тѣмъ же обстоятельствомъ, а именно, происходитъ отъ того, что въ нихъ паденіе воды растянута на весьма большое горизонтальное протяженіе.

Это соображеніе указываетъ намъ прямо на средство, которымъ можно увеличить скорость и уменьшить поперечное сѣченіе потока. Для этого нужно только искусственно сосредоточить въ одномъ мѣстѣ паденіе, которое въ естественномъ состояніи растянута на большое горизонтальное протяженіе. Весьма простое средство для этого сосредоточенія паденія представляютъ *запруды*, или *плотины*, т. е. перемычки, ставимыя поперегъ потока; пре-

граждая собою водъ выходъ, онѣ возвышаютъ ея уровень вверхъ отъ себя, паденіе потока передъ запрудою и его скорость становятся еще меньше, а вслѣдствіе того поперечное его сѣченіе увеличивается и потокъ составляетъ прудъ; если теперъ въ нижней части этой запруды сдѣлаемъ небольшое отверстіе, то вода черезъ него устремится съ весьма большою скоростью, именно потому, что довольно значительное паденіе здѣсь сосредоточено на ничтожномъ горизонтальномъ протяженіи; это небольшое отверстіе можно соразмѣрить такъ, что черезъ него будетъ протекать съ большою скоростью то же количество воды, которое протекаетъ черезъ всякое другое поперечное сѣченіе потока. Тогда уровень воды вверхъ отъ плотины не будетъ ни возвышаться, ни понижаться, а между-тѣмъ, если поставимъ ниже плотины, какъ можно ближе къ отверстію, наше колесо, то оно получитъ дѣйствіе весьма значительнаго количества воды, которая уже будетъ ударять въ колесо съ большою



Черт. 24.

силою, ибо имѣетъ большую скорость; такимъ образомъ мы получимъ обыкновенное весьма простое подливное колесо (изображенное на черт. 24), которое однако

можно съ большою выгодною замѣнить другими, какъ-только паденіе воды \* становится больше 3 футовъ; даже при трехъ футахъ паденія, его должно употреблять лишь тогда, когда расходъ воды (т. е. количество воды протекающей въ секунду черезъ каждое поперечное сѣченіе), очень великъ. Причина этого заключается во многихъ существенныхъ недостаткахъ подливнаго колеса; во-первыхъ, вода ударяя въ колесо имѣетъ большую скорость, и часть этой скорости она дѣйствительно передаетъ колесу, которое вслѣдствіе того двигается несмотря на многочисленныя сопротивленія; ему представляющіяся; но другая часть этой скорости употребляется на ломку самихъ лопатокъ, о которыя вода ударяется; эта часть скорости воды теряется совершенно даромъ; она понятнымъ образомъ будетъ тѣмъ меньше, чѣмъ меньше разница между скоростью воды и скоростью лопатокъ, о которыя она ударяется; ея не будетъ вовсе, если лопатки колеса будутъ двигаться такъ же скоро, какъ и частицы воды въ нихъ ударяющія. Поэтому казалось бы, на первый взглядъ, что колеса намъ нужно пускать въ ходъ съ возможно-большою

---

\* Т. е. разстояніе отъ уровня воды въ верхнемъ рукавѣ—передъ плотиною, до уровня воды въ нижнемъ рукавѣ—за плотиною.

шею скоростью, но мы очень бы ошиблись, если-бы положились на этотъ результатъ; на самомъ дѣлѣ, кромѣ потери въ полезномъ дѣйстви, которая происходитъ отъ того, что часть скорости воды употребляется бесполезно и даже вредно на ломку колеса, въ нашемъ колесѣ есть еще весьма значительная потеря, происходящая отъ того, что вода уходящая съ колеса, движется точно такъ же скоро, какъ и самыя перья или лопатки, между которыми она заключена; эту часть скорости можно бы было еще отнять отъ воды въ пользу колеса, между-тѣмъ какъ она у насъ уходитъ совершенно даромъ; а потому если колесо вращается, и при этомъ его перья движутся столь же быстро, какъ и вода въ нихъ ударяющая, то вода протекаетъ черезъ колесо, не ломая его, это правда, но зато и не передавая ему нисколько своей скорости; она всю эту скорость уноситъ съ собою въ низовье. Рассматривая одну эту потерю, приходимъ къ заключенію, что вода тѣмъ больше отдаетъ своей скорости колесу, чѣмъ медленнѣе вращается колесо; отсюда мы видимъ, что въ полезномъ дѣйстви, которое бы можно было ожидать отъ воды, при ея ударѣ въ подливное колесо, происходятъ двѣ главныя потери: одна отъ того, что часть скорости воды употребляется не на то, чтобы сообщать движеніе

колесу, а чтобы ломать его; другая же отъ того, что часть скорости своей вода уноситъ съ собою въ низовье. Первая потеря не существуетъ, когда скорость лопатокъ та же, что скорость воды; напротивъ, она равна всему дѣйствию воды, когда колесо совсѣмъ не движется. Вторая потеря происходитъ отъ того, что вода уноситъ съ собою въ низовье часть своей скорости, не передавъ ея колесу; эта потеря не существуетъ, когда колесо стоитъ неподвижно, напротивъ, она составляетъ полное дѣйствіе воды, когда лопатки колеса движутся съ тою же скоростью, какъ и вода.

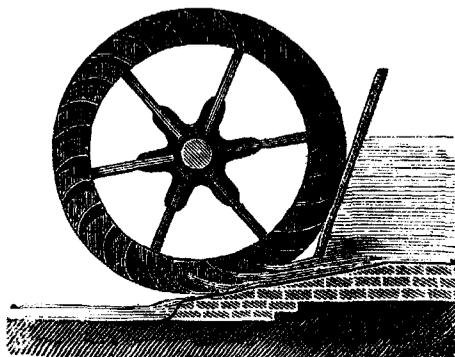
И такъ дѣйствіе воды на наше колесо, все безъ исключенія, теряется даромъ: 1) когда колесо стоитъ неподвижно, тогда все дѣйствіе воды употребляется на его ломку; 2) когда лопатки колеса ходятъ съ тою же скоростью, какъ и самая вода; тогда вода уноситъ съ собою все дѣйствіе, которое могла бы оказать на колесо. Если же колесо ходитъ со скоростью заключенною между этими предѣлами, то правда, часть скорости воды употребляется на его ломку, другая часть уносится водою, но третья часть этой скорости передается колесу, и слѣд. производитъ нѣкоторое полезное дѣйствіе; она поддерживаетъ колесо въ движеніи, несмотря на встрѣчаемыя имъ препятствія; сумма

обѣихъ потерь будетъ различна, смотря по тому, какова скорость колеса; понятно, что будетъ и такая скорость, при которой сумма обѣихъ потерь будетъ наименьшая, и слѣд. полезное дѣйствіе, производимое водою на колесо, будетъ наибольшее. Вычисленіе показываетъ, что если не принимать въ соображеніе другихъ потерь, кромѣ двухъ, только-что упомянутыхъ, то полезное дѣйствіе оказываемое водою будетъ наибольшее тогда, когда скорость лопатокъ колеса ровно вдвое меньше чѣмъ скорость воды; при этомъ сумма потерь составляетъ ровно половину того полезнаго дѣйствія, какое могла бы оказать вода, еслибы эти потери можно было сразу уничтожить. Это есть результатъ вычисленій. Опытъ же показываетъ, что выгоднѣйшая скорость колеса меньше, чѣмъ половина той скорости, съ которою притекаетъ вода; среднимъ числомъ скорость лопатокъ должна составлять  $\frac{2}{5}$  скорости воды, — тогда вода будетъ наивыгоднѣйшимъ образомъ дѣйствовать на колесо, и передать ему около  $\frac{1}{3}$  того полезнаго дѣйствія, которое та же вода, при той же скорости, могла бы ему передать, еслибы потерь вовсе не было. Откуда же является такая значительная разница между результатами вычисленія и опыта? Она станетъ понятна сама собою, если примемъ въ соображеніе, что въ вычисленіе

введены только двѣ потери въ дѣйствіи воды, — именно принято въ расчетъ только то, что одна часть скорости воды употребляется на изломъ, на поврежденіе колеса, а другая уносится ею бесполезно въ низовье. Но есть еще многія другія потери въ дѣйствіи воды на колесо; одна изъ важнѣйшихъ между ними состоитъ въ томъ, что значительная часть воды протекаетъ между лопатками, вовсе не ударившись въ нихъ; если принять и ее въ соображеніе при вычисленіи, то результаты теоріи будутъ столь близки къ опыту, какъ только того желать можно.

Вотъ одинъ изъ способовъ пользоваться движущею силою воды и получать посредствомъ нея круговое, вращательное движеніе вала. Этотъ способъ весьма невыгоденъ; ибо, какъ мы сказали, лишь одна треть полнаго полезнаго дѣйствія воды идетъ здѣсь въ дѣло; другія  $\frac{2}{3}$  теряются совершенно даромъ; такъ — что если мы водянымъ колесомъ этой системы мелемъ въ сутки 15 четвертей хлѣба, то замѣнивъ его другимъ, въ которомъ бы потери полезнаго дѣйствія воды были совершенно уничтожены, мы могли бы вмѣсто 15 четвертей получить ихъ 45; конечно, нельзя надѣяться достигнуть столь выгодныхъ результатовъ, но если придти и къ 30 четвертямъ, то это будетъ уже

очень хорошо; но этого результата дѣйствительно можно достигнуть, измѣнивши нѣсколько устройство колеса, именно — сдѣлавши его лопатки, вмѣсто плоскихъ, кривыми, какъ это сдѣлалъ первый разъ знаменитый французскій инженеръ Понселё (черт. 25). Чтобы отдать себѣ полный отчетъ въ преимуще-



Черт. 25.

ствахъ этого колеса, вообразимъ, что вода текущая поруслу изъ-за плотины встрѣчаетъ въ своемъ движеніи кривую лопатку, вмѣсто плоской, и допустимъ, что внѣшній край этой лопатки идетъ по тому же направленію,

по которому движется вода, но сравнительно съ водою вдвое медленнѣе; что произойдетъ при этой встрѣчѣ воды съ лопаткою? Когда волна набѣгаетъ на постепенно поднимающійся кверху берегъ, она не ударяетъ въ него, какъ ударяетъ въ отвѣсную скалу, преграждающую ей путь; напротивъ, она полегоньку взбѣгаетъ на берегъ, мало-по-малу поднимается, подъемъ этотъ становится все медленнѣе и медленнѣе; затѣмъ вода скоро

напротивъ, перо уходитъ изъ-подъ воды, остающейся въ покоѣ. И такъ еслибы лопатки колеса были устроены такъ, какъ мы сказали, то есть еслибы направленіе лопатки въ тотъ моментъ, какъ на нее взбѣгаетъ вода, совпадало съ направлениемъ движенія воды, то объ главныя потери, вслѣдствіе которыхъ дѣйствіе воды на подливное колесо уменьшается на цѣлую половину своей полной величины, были бы совершенно уничтожены.

Но по несчастію этого невозможно достигнуть вполне: 1) потому, что не всѣ частицы воды разомъ взбѣгаютъ и разомъ сходятъ съ каждаго пера; 2) потому, что лопатки пришлось бы тогда ставить такъ, чтобы ихъ направленіе въ концѣ подходило какъ — можно ближе къ пересѣкаемой ими окружности колеса, вслѣдствіе чего пришлось бы слишкомъ стѣснить проходъ для воды между лопатками \*; чтобы облегчить ся входъ на коле-

---

\* Противъ этого можно бы было сказать, что для облегченія входа воды на колесо можно выбросить некоторыя лопатки, но не трудно видѣть, что отъ этого произтекутъ весьма значительныя неудобства; во-первыхъ, весьма большое количество воды протечетъ между лопатками, не достигая ихъ, и слѣд. не производя никакого полезнаго дѣйствія; во-вторыхъ, уменьшая число лопатокъ на колесѣ, мы нарушаемъ правильность дѣйствія и движенія колеса; на-самомъ-дѣлѣ, чтобы колесо двигалось совершенно ровно, необходимо, чтобы оно въ каждое мгновеніе находилось въ однихъ и тѣхъ же обстоятельствахъ; слѣд. чтобы постоянно одно и то же

со и выходъ съ него, необходимо пожертвовать частью выгодъ, происходящихъ отъ совпаденія направленія движенія воды съ направлениемъ лопатки, и слѣдовательно необходимо поставить лопатку подъ нѣкоторымъ угломъ къ направленію движенія воды; такъ и дѣлаютъ, стараясь разумѣется взять этотъ уголъ по-возможности малымъ, и только-что достаточнымъ для того, чтобы вода могла свободно входить на колесо, и уходить съ него по окончаніи своего дѣйствія; обыкновенно рассчитываютъ размѣры колеса такъ, чтобы направленіе входящей воды не отклонялось отъ направленія лопатки болѣе чѣмъ на  $15^{\circ}$ .

Несмотря на всѣ эти несовершенства въ практическомъ устройствѣ этого колеса, несмотря на многія другія уменьшающія полезное его дѣйствіе

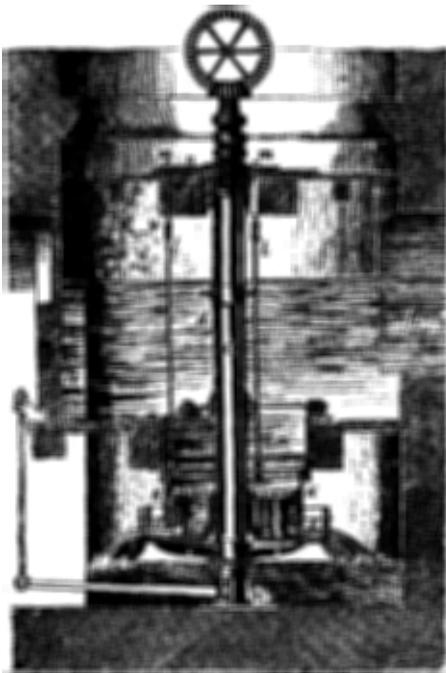
---

число лопатокъ было погружено въ воду и подвергалось ея дѣйствію въ возможно-одинаковыхъ положеніяхъ; достигнуть этого разумѣется невозможно, ибо очевидно, лопатки при своемъ движеніи измѣняютъ свое положеніе; но чѣмъ больше лопатокъ, тѣмъ лучше; еслибы вся погруженная въ воду часть колеса состояла изъ однихъ сплошь поставленныхъ лопатокъ, то очевидно, какъ только одна выходила бы изъ своего положенія, тотчасъ на ея мѣсто являлась бы другая; но тогда вода не могла бы вовсе дѣйствовать на колесо; чтобы она взбѣгала на его перья, нужно оставить между ними извѣстные промежутки, достаточные для помѣщенія воды, но всякій избытокъ въ ихъ разстояніи будетъ существенно вреденъ для колеса.

потери, оно, какъ показываетъ опытъ, всё-таки въ два раза лучше обыкновеннаго подливнаго колеса. Подливное колесо собираетъ среднимъ числомъ 30% полного дѣйствія, которое можетъ оказать вода, еслибы не терять ничего. Колесо Понселё собираетъ до 60 и до 62% этого полезнаго дѣйствія. Но 40% потери есть число огромное; нельзя ли уменьшить и сго? Чтобы найти средство къ этому уменьшенію, нужно хорошенько, внимательно разсмотрѣть, какъ мы воспользовались дѣйствіемъ воды посредствомъ описанныхъ здѣсь колесъ. Для этого замѣтимъ, что вода вверхъ отъ плотины имѣетъ весьма малую скорость; она стоитъ почти неподвижно; продѣлавши окошко внизу плотины, мы заставили каждую частицу воды падать съ уровня къ этому отверстію почти по вертикальному направленію; вслѣдствіе этого внизъ отъ плотины, мы получили струю воды текущей съ весьма значительною скоростью, и вслѣдствіе того протекающей въ очень большомъ количествѣ черезъ весьма небольшую площадь; затѣмъ скорость этой воды, возбужденную въ ней паденіемъ, мы начали передавать вращающемуся валу, который подъ дѣйствіемъ постоянныхъ сопротивленій стремится остановиться, но при этой передачѣ не могли хорошенько справиться съ полученною боль-

шою скоростью воды; часть ея мы дѣйствительно передали колесу, а другую растеряли даромъ совершенно безъ пользы; слѣд. вся бѣда заключается въ томъ, что мы не умѣемъ хорошо управляться съ водою, которая движится очень быстро; нужно стараться или улучшить наши средства пользоваться большою скоростью воды, или же воспользоваться непосредственно тѣми силами, которыя прежде сообщали водѣ большую скорость, и прямо заставить эти силы дѣйствовать на колесо. Промышленность владѣетъ нынѣ весьма хорошими средствами и для той, и для другой цѣли; она употребляетъ въ дѣло прямо тѣ силы, которыя прежде сообщали водѣ большую скорость преимущественно тогда, когда расходъ воды не очень великъ, т. е. когда не великъ объемъ воды, которымъ хотятъ воспользоваться:—при очень большомъ объемѣ воды, и при малой ея скорости пришлось бы, прилагая это начало, строить для помѣщенія воды исполинскихъ размѣровъ пріемники; первоначальное ихъ устройство и постоянный ремонтъ обошлись бы весьма дорого; а потому промышленность въ настоящее время предпочитаетъ употреблять въ случаѣ весьма большихъ расходовъ воды, особыя улучшенныя средства пользоваться ея большою скоростью; это суть такъ называемыя тур-

бины; подробное описаніе ихъ и изложеніе ихъ дѣйствія было бы здѣсь неумѣстно; но чтобы дать хотя нѣкоторое понятіе о водяныхъ пріемникахъ этого рода, мы прилагаемъ здѣсь чертежъ и краткое описаніе Фурнейроновой турбины. Чертежъ 26 изображаетъ вертикальный разрѣзъ этой турбины.



Черт. 26.

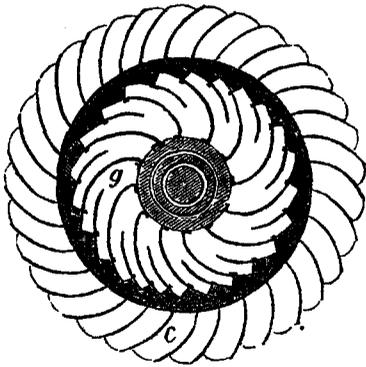
$h, h$  есть ларь, которымъ оканчивается верхній рукавъ потока, приводящаго турбину въ движеніе.  $G, G$  уровень пизовья; дно ларя  $h, h$  содержитъ круглое отверстіе, черезъ которое вода устремляется въ низовье по пустому цилиндру повѣшенному на балкахъ, какъ показываетъ чертежъ; къ гладко высверлен-

ной внутренней поверхности этого цилиндра при-мыкають закраины другаго цилиндра  $k, k$  который посредствомъ стержней  $l, l$  можетъ быть поднимаемъ и опускаемъ. Вдоль общей оси обоихъ цилиндровъ идетъ неподвижная труба  $d, d$  вну-

три которой помещается могущая вращаться вертикальная желѣзная ось *o*. На концѣ трубы посажена неподвижная такъ же, какъ и сама труба, тарелка *ff*; а ниже ея на желѣзной оси *o* сидитъ чашка, оканчивающаяся горизонтальнымъ вѣнцомъ, который въ турбинѣ, изображенной на черт. 26, соединенъ съ тремя другими горизонтальными вѣнцами, и образуетъ трехэтажное колесо *сс*, которое и приводится, какъ тотчасъ увидимъ, въ движеніе водою, падающею на тарелку *ff* изъ верховья, и идущею на колесо посредствомъ кольцеобразнаго отверстія, нижній край котораго составляетъ окружность тарелки, а верхній краями подушекъ *аа*, коими снабженъ цилиндрической подвижной щитъ *kk*; въ случаѣ значительной прибыли воды этотъ щитъ подымается, и отверстіе, которымъ вода выливается на колесо, становится больше; при уменьшеніи количества расходуемой потокомъ воды, напротивъ, этотъ щитъ опускается и отверстіе становится меньше.

Чертежъ 27 изображаетъ поперечный горизонтальный разрѣзъ той же турбины по линіи *C, C*; въ немъ видно, что на горизонтальной тарелкѣ стоитъ много вертикальныхъ кривыхъ перегородокъ *g*, между которыми образуются узкіе каналы, по направленію оси которыхъ и идетъ вода на колесо.

На самомъ же колесѣ стоятъ также вертикальныя перегородки или лопатки



Черт. 27.

перегородки или лопатки *с*, коихъ кривизна направлена въ противную сторону. Вода вступая съ тарелки въ каналы, образуемые этими лопатками, давить на ихъ вогнутую сторону, и побуждаетъ колесо вращаться въ сторону, въ

которую обращена ихъ выпуклость. Затѣмъ вода проходитъ по всѣмъ каналамъ, и выливается на наружной окружности колеса почти по направлению прямо противоположному направлению вращенія колеса. Очевидно, что кривизною перегородокъ *g*, и лопатокъ *с*, а равно и скоростью вращенія колеса *с* можно распорядиться такъ, чтобы вода вступала на колесо почти безъ удара и оставляла его почти безъ скорости. Притомъ очевидно, что оба эти условія совершеннѣе могутъ быть выполнены въ турбинѣ, чѣмъ въ вертикальномъ колесѣ, — ибо при устройствѣ турбины мы можемъ распорядиться не только кривизною лопатокъ и скоростью колеса, но и кривизною направляющихъ перегородокъ *g*; да и въ самихъ лопаткахъ очевидно на движеніе входящей воды не имѣетъ вліянія ихъ конецъ, а только на-

чало; конецъ лопатокъ имѣеть вліяніе только на движеніе выходящей воды, а потому число элементовъ, имѣющихъ существенное вліяніе на движеніе воды, и находящихся въ нашемъ распоряженіи при устройствѣ турбины будетъ четыре: а) направленіе конца перегородки  $g$ ; б) направленіе начала лопатки  $c$ ; в) направленіе конца лопатки  $c$ ; г) скорость вращенія колеса; между-тѣмъ какъ при устройствѣ вертикальнаго колеса, въ которомъ вода и входитъ и уходитъ съ колеса въ одной и той же части лопатки, мы можемъ распоряжаться лишь двумя элементами, имѣющими значеніе подобное вышеупомянутымъ, а именно: а) направленіемъ конца лопатки и б) скоростью вращенія колеса. Очевидно, что располагая бѣльшимъ числомъ элементовъ, мы въ турбинѣ совершеннѣе можемъ исполнить условія относительно вступленія воды на колесо безъ удара и выхода съ него безъ скорости. Поэтому турбина гораздо лучше вертикальныхъ водяныхъ колесъ обращаетъ въ пользу дѣйствіе воды, передающей колесу значительную прибрѣтенную паденіемъ скорость. Опытъ показаль, что турбина, хорошо построенная, собираетъ до 75% всего дѣйствія заключеннаго въ потокѣ; необходимое условіе такой высокой степени полезнаго дѣйствія турбины состоитъ въ

томъ, чтобы вода шла совершенно правильно черезъ колесо; а этого нельзя достигнуть иначе, какъ при томъ условіи, чтобы каналы колеса были постоянно наполнены водою; потому въ случаѣ, если количество расходуемой потокомъ воды подвержено значительнымъ измѣненіямъ, то колесо (какъ на черт. 26) дѣлится промежуточными вѣнцами на нѣсколько этажей, которые или всѣ наполняются водою, если воды расходуется много и щитъ *к*, *к* стоитъ высоко, или только два (и даже одинъ нижній), если воды расходуется мало и щитъ опущенъ низко.

Турбина эта всегда съ выгодою замѣняетъ вертикальныя колеса, когда хотятъ пользоваться водою, имѣющею значительную скорость, то есть когда хотятъ употреблять въ дѣло значительные расходы воды; единственное ея неудобство при этихъ условіяхъ состоитъ въ томъ, что она содержитъ много частей, которыя должны быть тщательно отдѣланы, и потому дорога; при меньшихъ расходахъ воды она дѣйствуетъ такъ же хорошо, но есть и другія колеса, которыя стоятъ дешевле и дѣйствуютъ не хуже ея; таково, напримѣръ, наливное колесо, которымъ мы на слѣдующей лекціи и займемся.

---



## ЛЕКЦІЯ VI.

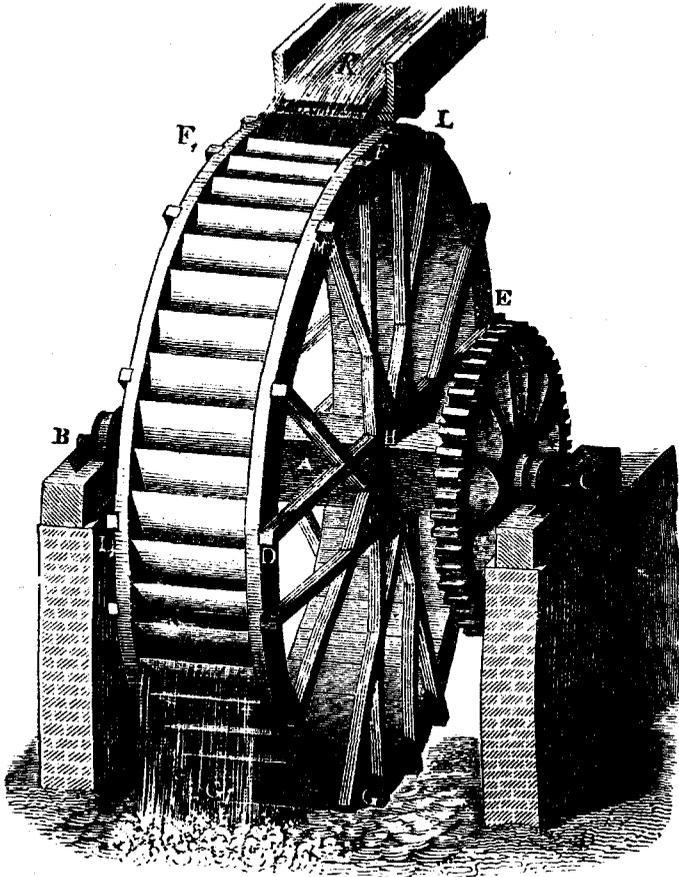
### Водяныя колеса.

Чтобы совершенно ясно понять, какимъ-образомъ наливное колесо извлекаетъ изъ воды больше полезнаго дѣйствія, чѣмъ подливныя, замѣтимъ, что вода пріобрѣтаетъ въ отверстіи, которымъ пускается на эти послѣднія колеса, бѣльшую скорость отъ того, что предварительно падаетъ; но если мы возьмемъ воду сверху пруда, и поставимъ ея паденію какое-либо препятствіе, на прим. дно ковша соединеннаго съ колесомъ, то падая на этотъ ковшъ и давя на него, вода приведетъ его въ движеніе; но при этомъ она будетъ падать уже не столь быстро, какъ прежде за плотиною; а потому сила, употреблявшаяся тамъ на сообщеніе водѣ этой бѣльшей скорости, пойдетъ здѣсь отчасти прямо на сообщеніе другой меньшей скорости нашей водѣ и подвижной стѣнкѣ, а

отчасти на то, чтобы преодолѣть сопротивленія, встрѣчающіяся движенію колеса; эта послѣдняя часть силы вся идетъ въ дѣло; изъ нея ничего не теряется; изъ первой же части нѣкоторое количество очевидно будетъ потеряно, во-первыхъ оттого, что и здѣсь, подобно какъ въ подливныхъ колесахъ, часть скорости воды; притекающей на дно ковша, употребляется на поврежденіе, на изломъ самага ковша; а другую часть этой скорости вода уноситъ съ собою, когда выливается съ колеса; но если вода, вливающаяся на колесо, имѣетъ небольшую скорость, если также колесо ходитъ довольно тихо, то эти потери весьма невелики сравнительно съ тѣмъ дѣйствіемъ, которое вода на-самомъ-дѣлѣ передаетъ колесу; и потому полезное дѣйствіе этихъ колесъ несравненно выгоднѣе, чѣмъ дѣйствіе колесъ подливныхъ.

Чертежъ 28-й изображаетъ такое колесо; вода здѣсь пущена на колесо жолобомъ или ларемъ, который соединяется съ верховьемъ не внизу, а вверху плотины; въ него по слабому уклону идетъ вода еще не упавшая; она имѣетъ очень незначительную скорость, затѣмъ она струею, выходящею отверзтіемъ при *K*, вливается въ постепенно подходящіе подъ нее ковши (ящики или кошели) колеса, давитъ на ихъ дно, и поддерживаетъ вра-

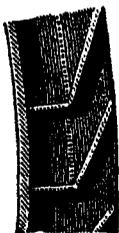
щеніе колеса. Изображенное на чертежѣ колесо называется въ противоположность подливному наливнымъ, или иногда верхнебойнымъ колесомъ; подливное въ этомъ случаѣ получаетъ названіе ниж-



Черт. 28.

небойнаго колеса. Замѣтимъ и объяснимъ нѣсколько особенностей его устройства; въ немъ боковыя вертикальныя стѣнки ковшей составляютъ двумя вѣнцами (ободьями или нащечинами), между которыми

заклочены лопатки; задняя стѣнка составлена палубою или помостомъ, который виденъ на задней сторонѣ колеса (черт. 28); дно составляется заднею лопаткою, идущею по направлеию отъ оси



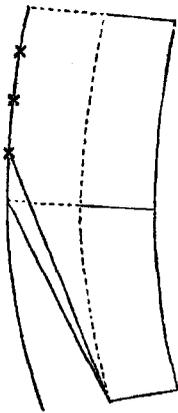
Черт. 29.

вала, на которомъ сидитъ колесо; передняя же стѣнка составлена наклоненною лопаткою; положеніе этой послѣдней опредѣляется обыкновенно такимъ-образомъ, что пересѣченіе ея съ заднею лопаткой (черт. 29) лежитъ по срединѣ разстоянiя между палубой и внѣшней окружностью колеса; передній же ея край обыкновенно лежитъ на пересѣченіи мысленно-продолженнаго дна предъидущаго ковша или ящика съ внѣшнею окружностью колеса \*. Эта передняя лопатка служитъ для того, чтобы по возможности долго удерживать воду на колесѣ, и заставлятъ ее давить на ковшъ; ясно, что чѣмъ ближе направлеиіе этой лопатки къ окружности колеса, тѣмъ позднѣе начинаетъ съ него выливаться вода,

---

\* Нерѣдко пересѣченіе лопатокъ, составляющихъ ковшъ, опредѣляютъ такимъ-образомъ: дѣлятъ разстоянiе палубы отъ внѣшней окружности колеса на три равныя части, и на первой трети ставятъ конецъ задней лопатки. Не трудно убѣдиться, вычерчивая лопатку по этому правилу, что при одной и той же степени наполненiя ковша, изъ него начнетъ вода выливаться раньше, если онъ устроенъ по послѣднему правилу.

но очевидно тѣмъ болѣе также будетъ затрудненъ и входъ воды на колесо; потому ея наклоненіе къ окружности колеса и не дѣлаютъ слишкомъ малымъ; въ практикѣ найдено, что при среднемъ наклоненіи, опредѣленномъ по предъидущему правилу, вода не слишкомъ стѣсняется при входѣ, и не очень рано начинаетъ выливаться при выходѣ; въ случаѣ, если въ каждый ковшъ наливается мало воды, то совѣтуютъ нѣсколько уменьшать наклоненіе лопатки къ внѣшней окружности колеса; правило, которое даютъ для этого, состоитъ въ томъ, чтобы начертить положеніе передней лопатки по



прежнему способу, затѣмъ раздѣлить разстояніе между этой лопаткой и предъидущей на четыре равныя части (черт. 30), и конецъ первой четверти соединить съ концомъ задней лопатки. Этимъ незначительно стѣснится входъ воды на колесо, но замедлится выходъ, что и увеличитъ полезное дѣйствіе воды. Въ случаѣ желѣзныхъ ко-

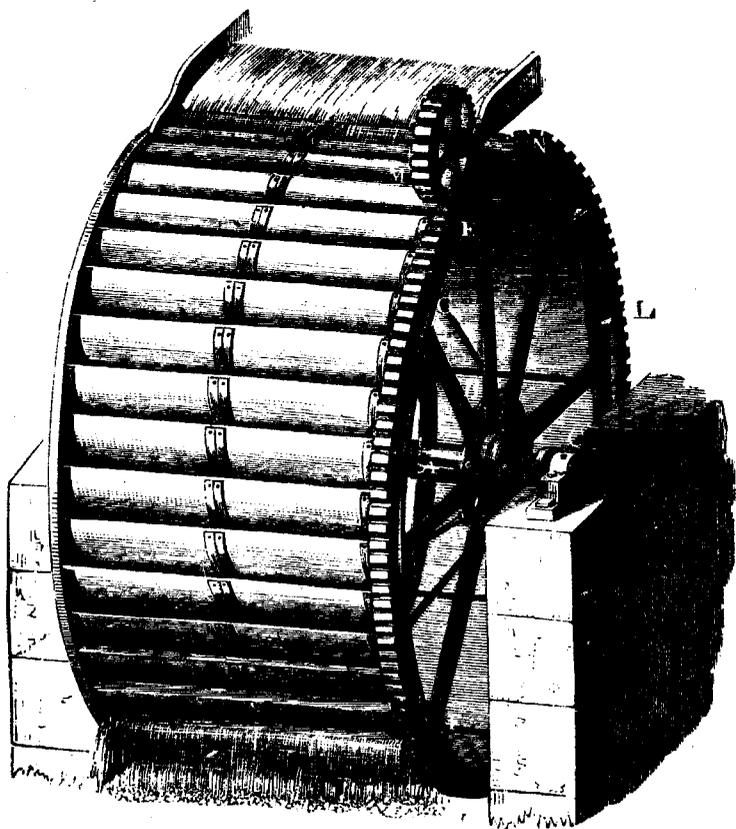
Черт. 30.

лесъ, предпочитаютъ дѣлать ковши изъ листового желѣза, которые тогда сгибаютъ сплошною кривою, какъ показано на прилагаемыхъ чертежахъ 31 и 32. Чѣмъ мельче колесо, т. е. чѣмъ меньше разстояніе между налубой и внѣшней

окружностью вѣнцовъ, тѣмъ выгоднѣе его дѣйствіе; ибо очевидно, тѣмъ меньше должна упасть вода, чтобы достигнуть до дна колеса и произвести на него свое давленіе; кромѣ-того вода очевидно дѣйствуетъ своимъ вѣсомъ тѣмъ на бѣльшемъ протяженіи, чѣмъ мельче колесо; а потому глубину колеса стараются по возмож-



Черт. 31.



Черт. 32.

ности уменьшать; но нельзя тоже дѣлать его слиш-

комъ мелкимъ; иначе не хватитъ мѣста для помѣщенія нужной воды; опытомъ найдено, что получаютъ весьма удовлетворительные размѣры колеса, если его глубина имѣетъ около 10 дюймовъ или 1 фута; въ случаѣ только очень большихъ расходовъ, увеличиваютъ глубину колеса до 16 дюймовъ.

Разстояніе между ковшами должно дѣлать по возможности малымъ, только чтобы не стѣснить слишкомъ мѣста для воды; основаніемъ этому служить то соображеніе, что:

1) Когда ковши поставлены часто, то паденіе, которое совершаетъ вода, прежде чѣмъ дойдетъ до каждаго изъ ковшей, будетъ меньше; слѣд. ея скоростъ будетъ также меньше, а потому и потери происходящія отъ удара воды будутъ меньше.

2) Выливаніе воды изъ ковшей будетъ начинаться позднѣе, какъ въ томъ легко убѣдиться, вообразивъ, что на чертежѣ два ковша замѣнены однимъ, и вся вода, въ этихъ двухъ ковшахъ заключающаяся, слита въ одинъ ковшъ; поэтому вообще было бы полезно даже въ деревянныхъ колесахъ устраивать желѣзные листовые ковши, которые занимаютъ собою меньше мѣста, и могутъ быть по тому самому поставлены въ большемъ количествѣ. Обыкновенно разстояніе между ковшами бываетъ около 1 фута.

Ковши нужно не слишком наполнять водою, и въ хорошемъ колесѣ никакъ не должно допускать, чтобы объемъ воды въ ковшѣ составлялъ больше, чѣмъ одну треть объема ковша; всего лучше, если вода занимаетъ только отъ  $\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{5}$  объема ковша; причина этого понятна; чѣмъ меньше воды въ ковшѣ, тѣмъ позже она должна начать выливаться изъ него. Это обстоятельство дѣлаетъ рѣшительно невыгоднымъ употребленіе наливныхъ колесъ при значительныхъ расходахъ воды; чтобы вода не начинала изъ нихъ выливаться слишкомъ рано, придется расширять ихъ до такой степени, что они сдѣлаются очень тяжелы, а устройство и ремонтъ ихъ потребуютъ весьма значительныхъ издержекъ; вообще эти колеса выгодно замѣнять другими, такъ-называемыми заливными, заднебойными или англійскими колесами, какъ-только расходъ воды на колесо, т. е. объемъ, который каждую секунду идетъ на колесо, превышаетъ 15—25 куб. футовъ.

Высота колеса должна быть возможно-большая, какую только, допускаетъ существующее паденіе и необходимый уклонъ (около  $\frac{1}{12}$ ) русла ларя или жолоба, которымъ вода приводится къ колесу. Причина этого также понятна сама-собою. Скорость колеса должна быть по возможности малая; есть колеса, которыя ходятъ со скоростью 10 футовъ, т. е. внѣш-

вія точки ихъ окружности пробѣгають каждую секунду 10 футовъ; выгоднѣе пускать ихъ съ меншею скоростью до 5 футовъ въ секунду, на томъ основаніи, что 1) при бѣльшей скорости колесъ, вода, уходя съ колеса, уноситъ съ собою бѣльшую скорость, и дѣйствіе вѣса воды, употребленное на сообщеніе ей этой скорости, пропадаетъ совершенно даромъ; 2) чѣмъ бѣльше вращается колесо, тѣмъ бѣльше развивается въ немъ и въ водѣ, содержащейся въ ковшахъ, центробѣжная сила, вслѣдствіе которой вода очень рано начинаетъ выплескиваться изъ колеса. Но нельзя слишкомъ сильно и уменьшать скорости колесъ; это уменьшеніе ихъ скорости влечетъ за собою два неудобства: 1) Когда колесо ходитъ очень медленно, то въ каждый ковшъ вливается весьма значительное количество воды, и чтобы эта вода занимала не болѣе какъ  $\frac{1}{3}$  объема ковша, нужно дѣлать колесо весьма широкимъ, а отъ этого оно обойдется дорого и будетъ тяжело на ходу. 2) При очень медленномъ ходѣ колеса придется слишкомъ сильно преобразовывать его движеніе, прежде чѣмъ передавать орудію, что повлечетъ за собою новыя потери. Поэтому вообще не дѣлають скорости колеса менше 3 футовъ по окружности, то-есть заставляють его яредолѣвать такія только сопротивленія, при

которыхъ его скорость не менѣе 3 футовъ. Всего удобнѣе если скорость колесса около 5 футовъ.

Что касается до высоты колеса, то, по понятной причинѣ, она дѣлается возможно-большею и составляетъ собою почти все паденіе, отъ котораго отчисляется лишь небольшая часть, нужная для сообщенія водѣ надлежащей скорости, и необходимая для того, чтобы вода не замедляла своего движенія по ларю. Вотъ соображенія, помощію которыхъ приблизительно опредѣляются главные элементы наливнаго колеса; мы уже сказали, что они неудобны къ употребленію, когда расходъ воды, которымъ хотимъ воспользоваться, болѣе 25 куб. футовъ; но они также весьма неудобны, если паденіе воды, т.-е. разстояніе отъ ея уровня передъ плотиною и за плотиною, меньше 8 футовъ. Колесо устроенное при меньшихъ паденіяхъ, имѣетъ очень малый діаметръ, и та высота, на которой уже начнетъ съ него выливаться вода при самыхъ выгодныхъ условіяхъ, составитъ очень замѣтную часть всего ея паденія, весьма значительная часть котораго (не менѣе  $\frac{1}{3}$  —  $\frac{1}{4}$ ) будетъ потому самому тратиться на совершенно бесполезное увеличеніе скорости вытекающей съ колеса воды. Кромѣ-того, при маломъ діаметрѣ сильнѣе дѣйствуетъ центробѣжная сила, которая выплескиваетъ воду изъ колеса.

Но и при слишкомъ большихъ паденіяхъ, превышающихъ 40 фут., наливное колесо будетъ слишкомъ огромно, чтобы его можно было употребить съ успѣхомъ; исполинскіе его размѣры сдѣлаютъ постройку чрезвычайно-дорогою и колесо не будетъ имѣть достаточной прочности; а потому, когда хотятъ воспользоваться очень большими паденіями, то употребляютъ турбины (преимущественно такъ-называемыя шотландскія), точно такъ же, какъ и въ томъ случаѣ, когда употребляютъ въ дѣло весьма большіе расходы воды. Если наливное колесо употребляется при паденіяхъ не мѣньшихъ 8 фут. и при расходахъ не большихъ 20—25 куб. фут. воды, то оно обращаетъ въ пользу отъ 75 до 80%<sup>0</sup> полного полезнаго дѣйствія, которое можетъ быть оказано водою.

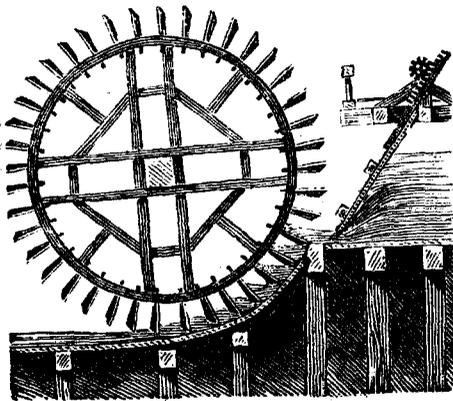
Разсмотримъ теперь тѣ колеса, которыя, съ выгодою замѣняя наливное колесо при паденіяхъ меньшихъ 8 фут. и при расходахъ превышающихъ 25 куб. футовъ въ секунду, также съ успѣхомъ употребляются вмѣсто подливнаго колеса, когда паденіе превышаетъ 3 фута; эти колеса отличаются отъ предъидущихъ тѣмъ, что они на одной части своего внѣшняго периметра окружены жолобомъ или кожухомъ, который дѣлается изъ досокъ, или тесанаго камня, и представляетъ собою дугу, облегающую ту часть колеса, въ которой находится

вода; промежутокъ между колесомъ и кожухомъ составляетъ въ хорошо устроенныхъ деревянныхъ колесахъ отъ  $\frac{3}{4}$  до 1 дюйма, а въ случаѣ желѣзныхъ колесъ отъ  $\frac{1}{2}$  до  $\frac{3}{4}$  дюйма. Этотъ жолобъ или кожухъ имѣетъ своимъ назначеніемъ предупредить преждевременное выливаніе воды съ колеса.

Правда, этотъ кожухъ пропускаетъ по зазору, остающемуся между нимъ и колесомъ, небольшое количество воды; но оно вслѣдствіе малой ширины зазора довольно незначительно.

Мы сначала опишемъ устройство этихъ колесъ, и потомъ уже объяснимъ, при какихъ условіяхъ каждое изъ нихъ можетъ быть съ пользою употребляемо.

1) *Полуподливное колесо* по своему устройству то же самое, какъ и подливное колесо (черт. 33); отличается же отъ него слѣдующимъ: вода не только



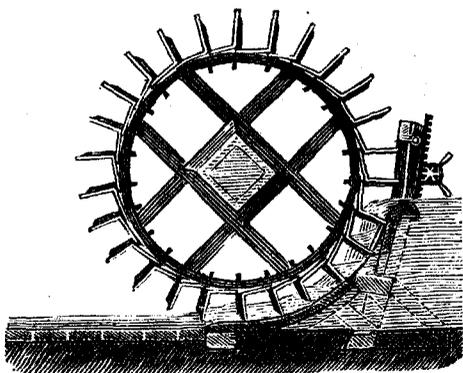
Черт. 33.

дѣйствуетъ на это колесо тѣмъ, что передаетъ его лопаткамъ часть своей скорости, которую приобрѣла предварительнымъ паденіемъ, но отчасти также давитъ на лопатки и своимъ вѣсомъ спускаясь на ко-

лесѣ по очень небольшому кожуху; понятно, что это колесо можетъ съ выгодою замѣнять подливное, когда при одномъ и томъ же значительномъ расходѣ паденіе воды становится нѣсколько больше 3 фут.; потому-что тогда можно воспользоваться тремя футами этого паденія, дабы сообщить надлежащую скорость водѣ, такъ-что колесо выйдетъ не очень широко; остальную же часть паденія употребить на то, чтобы заставить воду дѣйствовать своимъ вѣсомъ; ибо, какъ замѣчено выше, вода дѣйствуетъ лучше своимъ вѣсомъ, чѣмъ скоростью. Колесо это съ выгодою замѣняетъ также подливное колесо и при паденіяхъ меньшихъ 3 футовъ, когда расходъ воды не черезъ-чуръ великъ; тогда отдѣляя только  $1\frac{1}{2}$ —2 фута паденія на сообщеніе водѣ нужной скорости, можно получить колесо не черезъ-чуръ широкое, и слѣд. благоразумно будетъ остаткомъ паденія

воспользоваться, чтобы заставить воду дѣйствовать своимъ вѣсомъ.

2) *Полуналивное колесо*, которое отличается отъ полу-подливнаго тѣмъ, что (черт. 34) уже не не-



Черт. 34.

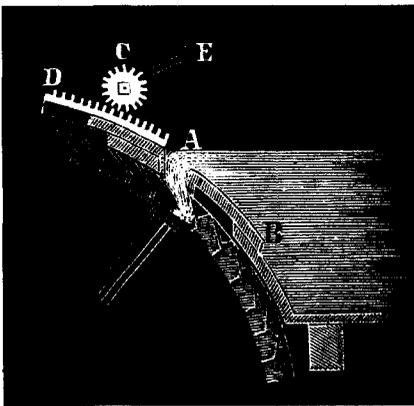
большая дуга, а почти цѣлая четверть колеса окружена кожухомъ; вода пускается на него почти прямо противъ его середины, и притомъ совершенно безъ напора, или такъ-называемымъ водосливомъ, т.-е. на колесо бѣжитъ верхняя струя воды изъ-за плотины, а не нижняя, какъ при подливномъ, и не одна изъ среднихъ, какъ при полуподливномъ колесѣ. Это колесо представляетъ, сравнительно съ прежними, ту выгоду, что здѣсь вода дѣйствуетъ почти исключительно своимъ вѣсомъ (а изъ этого дѣйствія, какъ знаемъ, ничто не теряется, — все идетъ въ дѣло), но при очень большихъ расходахъ представляетъ то важное неудобство, что ходитъ медленно \*, потому-что и струя воды, къ нему притекающая, будучи взята сверху пруда, имѣетъ малую скорость. А вслѣдствіе того, это колесо должно быть безмѣрно широко для того, чтобы вся притекающая вода могла въ немъ помѣститься; при меньшихъ же расходахъ и при паденіяхъ отъ 5 до 8 фут., оно дѣйствуетъ превосходно; но съ уменьшеніемъ паденія, разумѣется, и его превосходство надъ полуподливнымъ колесомъ уменьшается, такъ-что какъ-только паденіе воды становится меньше 5

---

\* 4—4½ фута въ секунду.

фут., то это колесо становится немногимъ лучше полуподливнаго; а какъ это послѣднее колесо, ходя быстрѣе (до  $6\frac{1}{2}$  фут. въ секунду), требуетъ для себя меньшей ширины, а потому легче и дешевле, то разумѣется оно и предпочитается.

3) *Заднебойное* или *англійское колесо* устроено совершенно такъ же какъ и наливное (черт. 35) съ ковшами или ящиками, но отличается отъ него кожухомъ, который облегаетъ всю водосодержащую часть этого колеса; кромѣ-того вода приводится на него не въ вершинѣ колеса, какъ въ наливномъ, а обыкновенно на  $\frac{3}{4}$  его высоты; это дѣлается между-прочимъ съ тою цѣлью, чтобы кожухъ, на который

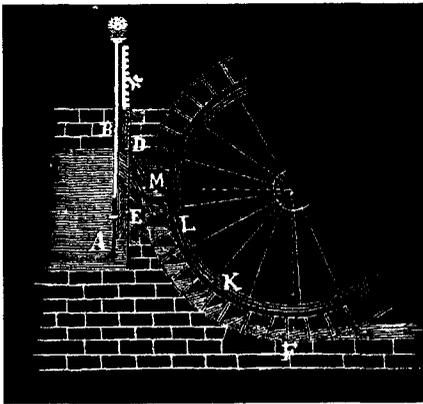


Черт. 35.

давить значительное количество воды, не висѣль надъ колесомъ; ясно, что эти колеса представляютъ преимущество передъ наливными въ томъ отношеніи, что ковши ихъ могутъ быть сильнѣе напол-

няемы, ибо при постепенномъ вращеніи колеса, вода, достигая края ковша или кошеля, не выливается еще изъ него вся, но удерживается посред-

ствомъ кожуха. Кошели этого колеса представляютъ ту невыгоду, что вода, прежде, чѣмъ достигнетъ дна кошеля, должна падать внутри его на всю высоту передней лопатки. Эта невыгода разумѣется тѣмъ меньше, чѣмъ больше все паденіе воды; если оно составляетъ 10 фут., и высота передней лопатки 1 футъ; то теряется дѣйствіе вѣса на  $\frac{1}{10}$  всего паденія; если же все паденіе 30 фут., то потеря въ дѣйствии вѣса воды менѣе ощутительна, ибо составляетъ только  $\frac{1}{30}$  всего паденія; поэтому колеса эти замѣняются, при паденіяхъ немного превосходящихъ 8 футовъ; дру-



Черт. 36.

гими колесами подобнаго же устройства, но въ которыхъ кошели или ковши замѣнены простыми лопатками, какъ на черт. 36; они удобнѣе въ томъ отношеніи, что паденіе воды, употребляемое на ударъ, въ нихъ очевидно меньше, чѣмъ въ ковшевыхъ

колесахъ, но зато изъ нихъ вода начинаетъ выливаться по простору между колесомъ и жолобомъ тотчасъ послѣ того, какъ входитъ, между-тѣмъ

какъ въ ковшевыхъ колесахъ выливаніе воды начинается гораздо позже; именно только тогда, когда при вращеніи колеса вода достигнетъ до края кошеля. Понятно, что эта невыгода тѣмъ менѣе чувствительна, чѣмъ больше при тѣхъ же прочихъ обстоятельствахъ расходъ воды; при уменьшеніи расхода эта невыгода возрастаетъ и можетъ, наконецъ, сравняться съ упомянутымъ выше неудобствомъ, которое представляютъ ковшевыя колеса, такъ-что при каждомъ паденіи, при которомъ заднебойныя колеса съ выгодною замѣняютъ наливныя, есть такой расходъ воды, при которомъ все-равно — употребляютъ ли ковшевое или лопатчатое колесо; при меньшемъ расходѣ лучше ковшевое, при большемъ лучше лопатчатое.

Замѣтимъ еще прежде чѣмъ оставлять эти колеса, что въ случаѣ, когда водостояніе вверхъ отъ плотины сильно измѣняется, то обыкновенно производятъ къ этимъ колесамъ воду посредствомъ такъ-называемыхъ подводныхъ рѣшетокъ; это устройство состоитъ въ томъ, что все короткое русло, которымъ вода доставляется къ колесу, дѣлятъ наклонными перегородками на части, изъ которыхъ каждая можетъ быть открываема отдѣльно, такъ-что если уровень воды стоитъ за плотиною высоко, то воду пускаютъ на колесо верхнимъ отверстіемъ; при пониженіи уровня нижнимъ. Иногда,

если могутъ тратить значительное количество воды, открываютъ сразу два, три отверстія и т. д.

Предъидущія соображенія заключаютъ въ себѣ элементы нужные для того, чтобы выбрать колесо соображаясь съ мѣстными обстоятельствами, т.-е. съ тѣмъ количествомъ воды, которое можемъ или хотимъ расходовать, и съ тѣмъ паденіемъ, которымъ хотимъ распоряжаться.

Чтобы облегчить эти соображенія, воспользуемся таблицей \*, приложенною въ концѣ книги, которая расположена совершенно въ видѣ знаменитой Пиеа-горовой таблицы умноженія; чтобы съ помощію ея отыскать колесо, которое всего лучше употребить при данномъ паденіи, напр. 6 фут., и при данномъ расходѣ, напр. 20 куб. фут. воды, отыщемъ въ горизонтальномъ верхнемъ ряду данное намъ паденіе 6; затѣмъ, по проведенной черезъ конецъ этого паденія вертикальной линіи, спустимся внизъ до той горизонтальной черты, противъ которой стоитъ данный намъ расходъ воды 20; точка, которую такимъ-образомъ получимъ, будетъ лежать въ томъ отдѣлѣ таблицы, въ которомъ написано полуналивное колесо; это будетъ значить, что при

---

\* Таблица эта составлена знаменитымъ нѣмецкимъ ученымъ Ред-тенбахеромъ; здѣсь она переведена на русскія мѣры.

данныхъ обстоятельствахъ всего выгоднѣе употребить полуналивное колесо.

Займемся же теперь разсмотрѣніемъ нашей таблицы. Замѣтимъ, во-первыхъ, что въ ней есть цѣлый огромный отдѣлъ вправо, въ которомъ ничего не написано; этотъ отдѣлъ соотвѣтствуетъ столь большимъ паденіямъ и расходамъ, что одно водяное колесо не можетъ съ выгодною при этихъ обстоятельствахъ быть устроено. Лучше сдѣлать два, даже три колеса, поставивши ихъ рядомъ, если расходъ очень великъ, или одно вслѣдъ за другимъ, если паденіе воды очень велико, или же вмѣсто колеса употребить турбину.

Разсмотримъ теперь остальные отдѣлы таблицы; крайній лѣвый отдѣлъ содержитъ въ себѣ тѣ паденія и расходы, при которыхъ возможно употреблять только или подливное колесо, или колесо Понселё; этотъ отдѣлъ содержитъ въ себѣ самыя огромныя расходы, доходящіе до 175 куб. футовъ воды въ секунду, такъ-что эти колеса хорошо употреблять при значительныхъ расходахъ. На самомъ дѣлѣ подливное колесо, ходя очень быстро, несмотря на невыгодность своего дѣйствія, можетъ быть здѣсь употребляемо потому, что вслѣдствіе своей значительной скорости можетъ при довольно умѣренныхъ размѣрахъ принимать дѣй-

ствіе весьма значительнаго количества воды; колесо Понселё, разумѣется, съ выгодою его замѣняетъ; но зато оно и стоитъ дороже. Линія, ограничивающая справа отдѣлъ подливнаго колеса, кверху наклонена нѣсколько влѣво, такъ-что по мѣрѣ уменьшенія расхода уменьшается также и паденіе, при которомъ дозволительно употреблять это колесо; при расходѣ въ 175 куб. футовъ можно употреблять это колесо даже тогда, когда паденіе воды составляетъ  $3\frac{1}{2}$  фута, но при расходѣ въ 15 кубическихъ фут. неблагоприятно бы было употреблять его для паденій бѣльшихъ, чѣмъ 2 фута. Причина опять совершенно понятна; когда расходъ воды не великъ, то размѣры колеса не выйдутъ слишкомъ огромны даже и тогда, когда оно ходитъ съ меньшею скоростью, а потому простое подливное колесо съ выгодою замѣняется лучше его дѣйствующимъ и нѣсколько медленнѣе ходящимъ полуподливнымъ колесомъ.

Вправо отъ границы этого отдѣла (въ которомъ паденія слишкомъ малы, и потому еще не можетъ быть употреблено полуподливное колесо), слѣдуетъ отдѣлъ тѣхъ паденій и расходовъ, въ которомъ съ равнымъ успѣхомъ употребляются и полуподливное колесо и колесо Понселё; колесо Понселё лучше полуподливнаго тѣмъ, что при значительныхъ рас-

ходахъ оно выходитъ не очень широко, а полуподливное лучше колеса Понселё, потому что строится легче и обходится дешевле; притомъ въ немъ вода дѣйствуетъ своимъ вѣсомъ, и слѣд. въ дѣйстви ея менѣе происходитъ потерь. Поэтому мы и видимъ, что этотъ отдѣлъ общій для колесъ Понселё и полуподливнаго постепенно при уменьшеніи расхода суживается, и затѣмъ начинается отдѣлъ, заключающій въ себѣ тѣ паденія и расходы, гдѣ можетъ быть употребляемо только одно полуподливное колесо, гдѣ это колесо дѣйствуетъ выгоднѣе всѣхъ прочихъ. Его отдѣлъ ограниченъ чертою, которая кверху тоже наклоняется влѣво, такъ — что при бѣльшемъ количествѣ воды полуподливное колесо можетъ быть еще употребляемо даже тогда, когда паденіе составляетъ  $6\frac{1}{2}$  фут., но при малыхъ расходахъ уже не употребляется, когда паденіе превышаетъ 5 футовъ. Причина этого опять заключается въ томъ, что полуподливное колесо ходитъ быстрѣе, чѣмъ всѣ за нимъ слѣдующія, и потому очень удобно для того, чтобы имѣя умѣренные размѣры принимать дѣйствіе большой массы воды. По-мѣрѣ же того, какъ расходъ воды становится меньше, эта умѣренность размѣровъ колеса становится менѣе-и-менѣе важною, ибо и другія колеса выходятъ не чрезвы-

чайно тяжелы; а потому важнѣе становится обратить вниманіе на то, чтобы изъ каждой частицы воды извлекать болѣе пользы, заставляя ее дѣйствовать уже не передачею скорости колесу (при чемъ, какъ знаемъ, происходятъ большія потери въ дѣйствіи), но вѣсомъ.

За отдѣломъ полуналивнаго колеса начинается отдѣлъ колесъ, на которыя вода дѣйствуетъ почти исключительно своимъ вѣсомъ; изъ таблицы видно, согласно тому, что мы сказали выше, что отдѣлъ полуналивнаго колеса не простирается далѣе 8 фут. паденія; это происходитъ отъ того, что уже при этомъ паденіи полуналивное колесо достигаетъ весьма значительныхъ размѣровъ, именно получаетъ высоту 16 футовъ; кромѣ-того требуетъ для себя жолоба, а потому при малыхъ расходахъ оно съ выгодною замѣняется дешевымъ наливнымъ колесомъ, которое выйдетъ вдвое меньше, и которое при малыхъ расходахъ дѣйствуетъ весьма удовлетворительно, несмотря на то, что не имѣетъ вокругъ себя кожуха. При большихъ же расходахъ и при паденіяхъ бѣльшихъ 8 футовъ, полуналивное колесо обходится дороже, чѣмъ колеса наливныя; ибо хотя сіи послѣднія и имѣютъ кожухъ, постройка котораго будетъ столько же стоить, какъ и постройка кожуха для колеса полуналивнаго; но за-

то высота заливныхъ колесъ меньше, и въ этомъ отношеніи они будутъ стоить дешевле.

При паденіяхъ большихъ 8 футъ могутъ по таблицѣ употребляться только три колеса; простое наливное безъ кожуха, и два заливныхъ—лопатчатое и ковшевое; таблица показываетъ, что наливное колесо можетъ быть съ выгодною употребляемо при расходахъ не превосходящихъ 30 куб. футовъ, и то, когда паденіе не меньше 25 фут.; при уменьшеніи же паденій и расходы, при коихъ выгодно употреблять наливное колесо, уменьшаются, такъ-что при паденіи въ 8 футовъ уже выгоднѣе употребить заливныя колеса, коль-скоро расходъ воды превышаетъ 10 куб. футовъ. Причина этого заключается въ слѣдующемъ: Уже при расходѣ въ 30 куб. футовъ, и при скорости колеса въ 5 футовъ по окружности, придется дѣлать колесо весьма широкое; если рѣшимся даже наполнять ковши до  $\frac{1}{3}$ , то придется колесо дѣлать въ 18 футовъ шириною; если сдѣлаемъ его въ 10 футовъ или почти въ  $1\frac{1}{2}$  сажени, то каждый ковшъ будетъ наполненъ почти до  $\frac{2}{3}$ , и вода начнетъ выливаться изъ него весьма рано; потеря, которая произойдетъ отъ этого, не такъ чувствительна, когда все паденіе велико; когда же паденіе уменьшается, то потеря эта становится все чувствительнѣе-и-

чувствительнѣе; чтобы уменьшить ее, нужно все болѣе-и-болѣе расширять колесо, чрезъ что значительно увеличатся издержки на его постройку и самый вѣсъ колеса, которое сдѣлается очень тяжело на ходу, а потому оно съ удобствомъ замѣняется заливными колесами, которыя, правда, выходятъ нѣсколько дороже вслѣдствіе необходимаго для нихъ жолоба, но зато могутъ быть наполняемы далѣе  $\frac{1}{2}$  объема ковша, а вслѣдствіе этого можетъ быть значительно уменьшена ихъ ширина; кромѣ-того въ этихъ колесахъ вода будетъ выгоднѣе дѣйствовать вслѣдствіе присутствія кожуха. Наконецъ, чтобы объяснить линію раздѣла между лопатчатымъ и ковшевымъ колесами, вспомнимъ, что оба они дѣйствуютъ почти одинаково, но что въ каждомъ изъ нихъ происходитъ нѣкоторая потеря въ дѣйствіи воды; потеря эта для ковшевого колеса становится менѣе-и-менѣе чувствительною при возрастаніи паденія, а для лопатчатого она становится менѣе-и-менѣе чувствительною по мѣрѣ возрастанія расхода, такъ-что, если станемъ оба колеса разсматривать при одномъ и томъ же расходѣ, то при малыхъ паденіяхъ потеря въ дѣйствіи ковшевого колеса окажется болѣе значительною, чѣмъ для лопатчатого; затѣмъ при увеличеніи паденія потеря въ лопат-

чатомъ колесъ будетъ оставаться неизмѣнною, а потеря въ ковшевомъ будетъ уменьшаться, наконецъ онѣ поравняются, такъ, что при дальнѣйшемъ увеличеніи паденія, потеря въ дѣйствии ковшеваго колеса станетъ уже меньше чувствительна, чѣмъ въ дѣйствии лопатчатаго; опредѣливъ такимъ образомъ для каждаго расхода соотвѣтствующую величину паденія, при которой и лопатчатое и ковшевое колеса равно выгодны, мы получимъ на нашей таблицѣ рядъ точекъ, которыя если соединимъ въ одну линію, то она и составитъ границу между отдѣломъ, въ которомъ выгоднѣе лопатчатое колесо, и отдѣломъ, въ которомъ преимущество останеся на сторонѣ ковшеваго.

---

## ЛЕКЦІЯ VII.

**Часы. Счетный и боевой механизмъ стѣнныхъ часовъ. Понятіе  
о карманныхъ часахъ.**

Въ видѣ послѣдняго примѣра, послѣ котораго мы перервемъ наши практическія замѣчанія о машинахъ, чтобы сказать нѣсколько словъ объ ихъ теоріи, мы разберемъ машину; наружность которой извѣстна каждому, безъ исключенія, — именно мы постараемся объяснить устройство часовъ, которые, какъ извѣстно, служатъ для измѣренія времени. Для бѣльшей ясности скажемъ сначала нѣсколько словъ объ измѣреніи времени вообще.

Чтобы измѣрить извѣстный промежутокъ времени, напр. часть его между началомъ и концомъ какого нибудь явленія, нужно поступать точно также, какъ вообще мы поступаемъ при измѣреніи

другихъ величинъ. Нужно взять какую нибудь часть времени за единицу, и считать сколько частей ей равныхъ, и безъ перерыва слѣдующихъ одна за другою, заключаются въ измѣряемомъ промежуткѣ, такъ, что въ сущности измѣреніе времени приводится къ тому, чтобы получать слѣдующія одна за другою безъ перерывовъ и равныя между собою его части. Для полученія такихъ частей времени мы пользуемся слѣдующимъ замѣчаніемъ: если два какихъ ни есть совершенно одинаковыхъ явленія происходятъ въ тождественныхъ между собою обстоятельствахъ, то мы убѣждены и въ томъ, что они совершаются во времена между собою равныя. Это начало, это предположеніе, если угодно, служитъ основаніемъ для измѣренія времени; безъ него измѣреніе времени невозможно.

Чтобы, основываясь на этомъ началѣ, измѣрять время, нужно только выбрать за единицу времени продолженіе такого явленія, которое бы мы могли возобновлять по нашему произволу; паденіе тѣлъ къ землѣ есть фактъ наиболѣе намъ извѣстный; если мы примемъ за единицу времени его продолженіе, нужное для паденія желѣзнаго шара вѣсящаго 5 фунтовъ съ высоты 16 футовъ, то ясно, что можемъ измѣрить продолженіе какого угодно явленія, если расположимъ нѣсколько такихъ ша-

ровъ на высотѣ 16 футовъ надъ поломъ, и будемъ постепенно вынимать изъ подъ нихъ опорныя поверхности, такъ что, когда одинъ шаръ дойдетъ до полу, тотчасъ начнетъ падать другой, и такъ далѣе. Очевидно, что сосчитавши число упавшихъ на землю шаровъ въ то время, какъ совершалось явленіе, мы получимъ число единицъ времени, измѣряющее его продолженіе.

Всякій безъ сомнѣнія видитъ, что подобное измѣреніе времени весьма неточно, весьма несовершенно потому, что: 1) Человѣкъ желающій измѣрить время, постоянно занятъ сбрасываніемъ шаровъ, и слѣд. все измѣренное время онъ теряетъ даромъ. 2) Кто поручится, что дѣйствительно мы спустимъ второй шаръ именно въ то мгновеніе, когда первый кончитъ свое паденіе? Оба эти обстоятельства дѣлаютъ указанный способъ измѣренія времени крайне неудобнымъ, а между-тѣмъ,—несмотря на то, онъ былъ въ употребленіи, и сохранился еще теперь для нѣкоторыхъ исключительныхъ случаевъ. Приборъ, который служитъ для основаннаго на этомъ началѣ измѣренія времени, на-



Черт. 37. Довъ (черт. 37), въ которыхъ нахо-

зывается *клепсидрою*, или морскими часами, извѣстенъ каждому. Онъ состоитъ изъ двухъ соединенныхъ шейкою сосу-

дится известнѣй объемъ воды или песка, конечно меньшій, чѣмъ объемъ каждаго сосуда; если мы поставимъ прямо это соединеніе сосудовъ на горизонтальную плоскость, то конечно вся вода перельется (или песокъ пересыплется) въ нижній сосудъ; если затѣмъ перевернемъ приборъ такъ, чтобы сосудъ заключающій въ себѣ воду очутился на верху, то вода изъ него перельется, или песокъ пересыплется въ нижній сосудъ, и употребить на это известное время, положимъ минуту; перевернемъ опять сосудъ, вода опять польется внизъ, и опять употребить на это минуту, и т. д. Если отъ начала какого нибудь явленія до его конца мы перевернемъ сосудъ 10 разъ, то скажемъ, что явленіе продолжалось 10 минутъ.

Мы указали уже причины, по которымъ неудобенъ подобный способъ измѣренія времени. Впрочемъ справедливо замѣтить, что оба неудобства нами указанные ослабляются нѣсколько, когда времена измѣряемая посредствомъ нашего прибора довольно велики; такъ, если песокъ для того, чтобы пересыпаться изъ одной чашки въ другую употребляетъ цѣлый часъ, то, человекъ, смотрящій за приборомъ, можетъ свободно работать въ теченіи этого часа, лишь по временамъ наводываясь о состояніи часовъ. Кроме-того,

если при перевертываніи часовъ онъ ошибется даже на цѣлую секунду, то эта ошибка составитъ только  $\frac{1}{3600}$  часть измѣряемаго времени; эта часть конечно не велика, но съ теченіемъ времени можетъ произвести значительную ошибку; если бы чело-вѣкъ, смотрящій за часами, перевертывалъ ихъ слиш-комъ поздно на одну секунду, т. е. на  $\frac{1}{3600}$  часть измѣряемаго времени, то въ 3,600 дней или почти въ 10 лѣтъ онъ просчиталъ бы слишкомъ цѣлыя сутки.

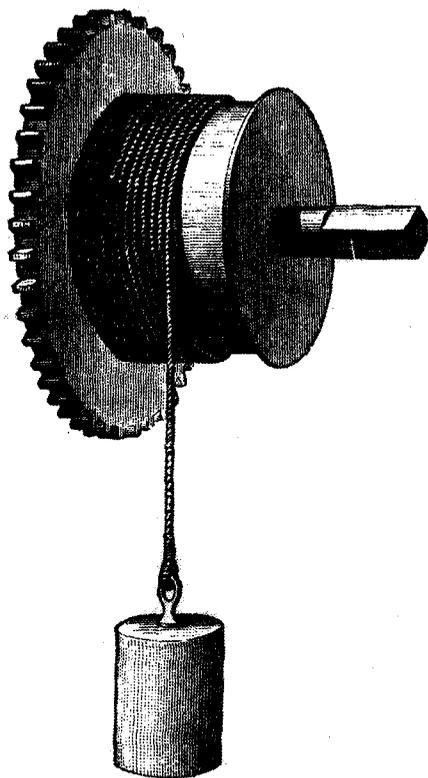
Подобная ошибка существуетъ, напримѣръ, въ на-шемъ обыкновенномъ лѣтосчисленіи, которое мы ведемъ доселѣ по старому стилю, или по Юліан-скому календарю. Въ этой системѣ счисленія при-нимается, что годъ продолжается 365 дней и 6 часовъ, между-тѣмъ какъ дѣйствительно годъ, т. е. періодъ времени, въ концѣ котораго солнце приходитъ, относительно земли (или, что то же, земля относительно солнца), въ то же положе-ніе, въ которомъ было при его началѣ, про-должается весьма приблизительно 365 дней 5 ча-совъ и 49 минутъ; слѣдовательно въ каждый годъ Юліанское лѣтосчисленіе дѣлаетъ ошибку около 11 минутъ; примемъ её для простоты расчета за 12 минутъ; въ 5 лѣтъ эта ошибка составитъ 60 минутъ или часъ, а въ 120 лѣтъ 24 часа, или цѣлыя сутки;

въ 1,200 лѣтъ погрѣшность дойдетъ до 10 сутокъ, т. е., напр. въ 1525 г. 21 марта мы будемъ считать солнце въ томъ же положеніи, въ какомъ оно было въ 325 г. 21 марта, а между-тѣмъ уже прошло 10 сутокъ послѣ того, какъ солнце занимало это положеніе. Такъ и случилось. Во времена Никейскаго собора (325 г. по Р. Х.) установлены были по теченію солнца и луны времена для празднованія пасхи, и при этомъ было предположено, что день весенняго равноденствія, или прохожденія солнца черезъ экваторъ, всегда будетъ 21 марта; между-тѣмъ равноденствіе въ XVI столѣтіи наступило уже 11 марта (10 днями раньше); вслѣдствіе того правила собора приходили во взаимное противорѣчіе; чтобы его устранить, папа Григорій XIII по совѣту астрономовъ рѣшился измѣнить календарь; для этого во первыхъ нужно было выбросить изъ Юліанскаго счета 10 сутокъ накопившейся уже ошибки и принять мѣры, чтобы она не происходила снова; для первой цѣли повелѣно было считать въ 1582 году послѣ 4 октября прямо 15, а для второй приказано было не всѣ сотые годы считать високосными, какъ то слѣдуетъ по Юліанскому календарю; а именно, такъ какъ при употребленіи этого календаря въ 400 лѣтъ накапливается ошибка приблизительно въ 3 сутки, то и повелѣно было

1600 годъ считать високоснымъ, а 1700, 1800, 1900 простыми; затѣмъ 2000 снова будетъ високоснымъ, а 2100, 2200, 2300 простыми и т. д. Однимъ словомъ, изъ сотыхъ годовъ остались високосными тѣ, которыхъ цифры, по уничтоженіи двухъ послѣднихъ нулей, дѣлятся на цѣло на четыре.

Для избѣжанія подобныхъ ошибокъ при измѣреніи времени, можно употребить два различные способа: 1) Взять для измѣренія времени какое нибудь явленіе, совершающееся непрерывно, и, раздѣливъ его на части совершающіяся въ равные между собою промежутки, считать сколько такихъ частей явленія совершится въ тотъ промежутокъ времени, который мы хотимъ измѣрить. Самое простое явленіе болѣе всего намъ знакомое, есть опять-таки паденіе тѣлъ; имъ весьма бы удобно можно было воспользоваться для нашей цѣли особенно потому, что съ его помощію очень легко приводитъ въ движеніе счетный механизмъ; на самомъ дѣлѣ, вообразимъ себѣ горизонтальный валъ (черт. 38), на которомъ навита веревка, укрѣпленная къ нему однимъ концемъ, а другимъ привязанная къ грузу, который можетъ свободно спускаться; ось вала укрѣплена неподвижно, и на валъ посажено колесо съ зубцами; противъ окружности этого колеса поставимъ указатель, совершенно неподвиж-

ный; очевидно, что если бы равныя части веревки свивались съ вала въ равныя между собою времена,



Черт. 38.

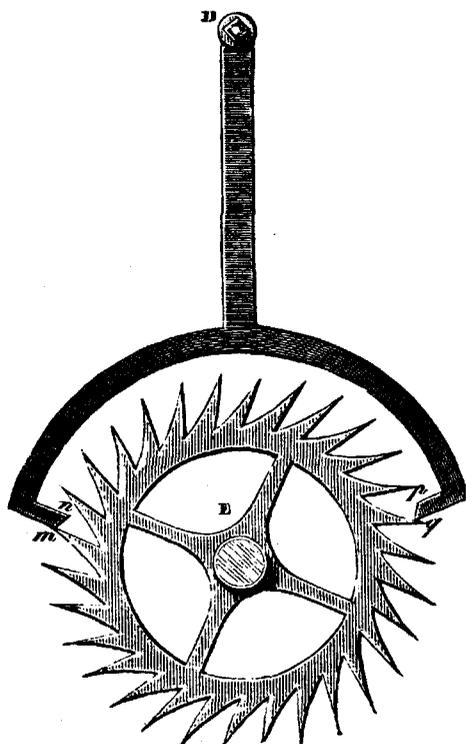
то замѣтивши сколько зубцовъ колеса пройдетъ мимо указателя отъ начала какого ни есть явленія до его конца, мы получили бы истинную мѣру времени; но этого не будетъ въ природѣ; гиря будетъ спускаться неровно, и на ея движеніе будутъ оказывать весьма значительное вліяніе сопротивленіе воздуха, треніе вала въ своихъ

опорныхъ точкахъ и т. п.; всѣ эти причины зависятъ отъ разныхъ обстоятельствъ, которыя очень трудно предвидѣть, и потому не только весьма трудно произвести ровный спускъ гири, но не совсѣмъ легко съ достаточною для столь важнаго прибора точностію опредѣлить ея движеніе. Поэтому явленіе, которое мы разбираемъ, не можетъ быть съ

удобствомъ прямо приложено къ измѣренію времени. 2) Второй способъ, который можно употребить для этой цѣли, состоитъ въ томъ, чтобы воспользоваться для измѣренія времени такимъ явленіемъ, которое бы само собою начиналось тотчасъ послѣ своего окончанія; такое свойство мы находимъ въ колебаніяхъ маятника. Если мы тѣло укрѣпленное на нити повѣсимъ такъ, чтобы одна изъ его точекъ была неподвижна, то нить расположится по вертикальной линіи; если затѣмъ отклонить ее отъ вертикальнаго положенія, то нить начнетъ около него колебаться, и притомъ такъ, что, какъ-только кончится одинъ размахъ, тотчасъ начнется другой въ сторону противоположную; здѣсь явленія размаховъ слѣдуютъ другъ за другомъ безъ перерывовъ, и еслибы не было сопротивленія воздуха, треній и тому подобныхъ причинъ, замедляющихъ движеніе, то конечно маятникъ сталъ бы двигаться безконечно, совершая постоянно размахи между собою равные; считая ихъ сами, или устроивши особый механизмъ для счета этихъ размаховъ, приводимый въ движеніе самимъ маятникомъ, мы и получимъ искомую мѣру времени. Такъ думалъ устроить часы Галилей, великій итальянецъ, жившій въ концѣ 16-го и въ первой половинѣ 17-го столѣтія. Ему конечно могли возразить, что маятникъ

вслѣдствіе вліянія указанныхъ выше сопротивленій постепенно будетъ уменьшать свои размахи; и, какъ на первый разъ кажется, вслѣдствіе того продолжительность размаховъ будетъ также становиться постепенно меньше и меньше. Но на это Галилей могъ отвѣчать тѣмъ весьма важнымъ наблюдениемъ, которое еще въ молодости имъ было сдѣлано, именно, что если маятникъ имѣетъ только извѣстную длину, то каковъ бы ни былъ его вѣсъ, какова бы ни была величина его качаній, всегда каждое свое качаніе онъ совершитъ въ одно и то же время; это положеніе, которое показываетъ, что время качанія зависитъ *только* отъ длины маятника, не совсѣмъ справедливо, но въ случаѣ небольшихъ размаховъ, какіе только и нужно употреблять для нашей цѣли, оно чрезвычайно близко къ истинѣ, и рѣшительно нѣтъ ни малѣйшей нужды обращать вниманіе на малую погрѣшность, которая въ немъ заключается. Недостатокъ Галилеева прибора состоитъ не въ томъ обстоятельстве, на которое мы сейчасъ указали, а въ томъ, что приборъ его вслѣдствіе самыхъ треній счетнаго механизма по истеченіи весьма короткаго времени самъ собою будетъ останавливаться, послѣ чего его нужно будетъ рукою снова приводить въ движеніе, пока онъ снова не остановится и т. д.

Дабы устранить этотъ недостатокъ, Гюйгенсъ устроилъ весь приборъ такъ, чтобы счетный его механизмъ былъ приводимъ въ движеніе не маятникомъ, а особою гирею, подобно тому, какъ мы говорили выше; маятникъ же онъ рѣшилъ употребить только для того, чтобы останавливать спускъ гири и все движеніе прибора при концѣ каждаго размаха; притомъ требовалось расположить механизмъ такъ, чтобы сама гиря при концѣ каж-

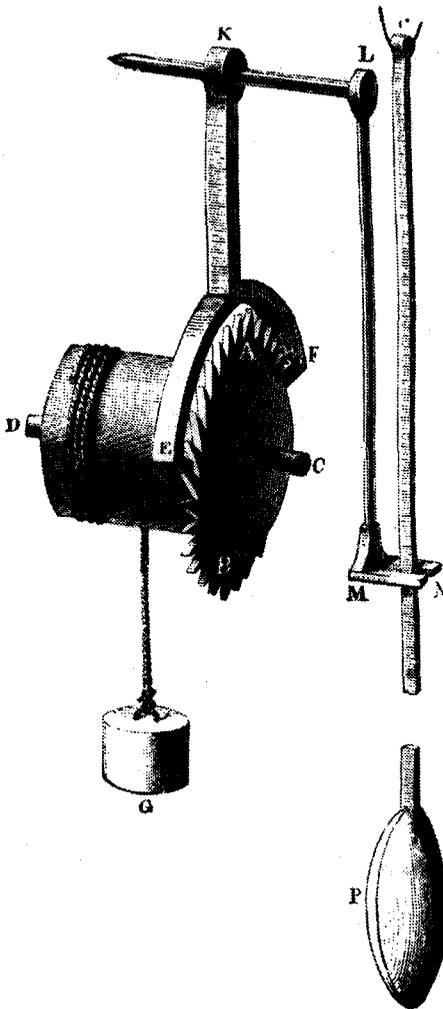


Черт. 39.

даго размаха маятника, сообщала ему небольшой толчокъ, нужный для поддержанія его движенія, несмотря на встрѣчаемая маятникомъ сопротивленія. Впослѣдствіи исполненіе этой же мысли было значительно усовершенствовано извѣстнымъ часовщикомъ Грегемомъ, и мы рассмотримъ теперь простѣйшее, основан-

ное на этомъ началѣ устройство часоваго ме-

ханизма. Въ этомъ механизмѣ (черт. 37 и 38) мы находимъ валъ, вокругъ котораго нѣсколько



Черт. 40.

разъ обвить шуръ, однимъ концомъ укрѣпленный на валѣ, а другимъ привязанный къ гирѣ; на продолженіи оси вала сидитъ опущенная на чертежѣ стрѣлка, которая при обращеніи вала ходитъ по раздѣленному кругу и указываетъ на его дѣленіяхъ истекшее время. На другомъ концѣ вала мы находимъ колесо съ зубцами (ихъ будетъ, 30) особаго вида, одна сторона которыхъ (мы будемъ называть ес

переднею) идетъ почти прямо къ центру колеса, а другая, которую мы назовемъ заднею, наклонена къ ней подъ извѣстнымъ угломъ; за зубцы этого ко-

леса, называемаго спускнымъ, могутъ зацѣплять два крючка *mn* и *pq* якоря *D* (*KLEF* на чертежѣ 38), который соединенъ съ маятникомъ и совокупно съ нимъ дѣлаетъ размахи. Толщина крючковъ равна половинѣ разстоянія между зубцами, а разстояніе крючковъ взято такое, что, когда маятникъ находится въ своемъ среднемъ положеніи, то оба крючка стоятъ между зубцами, и притомъ такъ, что когда одинъ крючокъ упирается въ переднюю, то другой касается задней поверхности другаго зубца; при этомъ хотя колесо побуждается къ вращенію вѣсомъ гири, которая стремится опуститься, и увлечь за собою веревку, но непременно одинъ изъ зубцовъ колеса упирается своею переднею стороною въ тотъ или другой крючокъ, напр. въ *mn*, и не позволяетъ валу вращаться; если теперь отодвинемъ маятникъ въ сторону, такъ, чтобы крючокъ *mn* его якоря сошелъ съ передней стороны зубца, то очевидно, другой крючокъ не можетъ помѣшать колесу вращаться, ибо онъ опирается на заднюю поверхность зубца; колесо и поворотится, пройдетъ дугу равную половинѣ разстоянія между зубцами, но не больше, потому что тотчасъ передняя сторона зубца *p* упрется въ крючокъ *pq*, и не позволитъ колесу двигаться; но въ то же время маятникъ, откло-

нившись на наибольшее свое разстояніе влѣво, станетъ опять возвращаться къ вертикальному положенію, перейдетъ его и наклонится вправо; при этомъ крючокъ *mn* прикоснется къ задней поверхности храповаго зубца *m*, и слѣдовательно не помѣшаетъ колесу повернуться, когда вслѣдствіе дальнѣйшаго уклоненія маятника вправо, крючокъ его *pq* сойдетъ съ передней стороны зубца *p*; колесо дѣйствительно и повернется, но опять не болѣе какъ на половину разстоянія между зубцами: ибо какъ только колесо пройдетъ этотъ уголъ, тотчасъ передняя сторона зубца *n* упрется въ нижнюю сторону крючка *mn*, и движеніе часовъ будетъ остановлено до-тѣхъ-поръ, пока маятникъ, совершивши еще размахъ влѣво, не освободитъ зубца *n*, и т. д. Такимъ образомъ при каждомъ размахѣ маятника, колесо будетъ повертываться на величину равную половинѣ разстоянія между зубцами; колесо сдѣлаетъ полный оборотъ, когда маятникъ совершитъ 60 размаховъ, а слѣдовательно если маятникъ взять такой длины, что онъ совершаетъ каждый размахъ втеченіи секунды, то колесо сдѣлаетъ полный оборотъ, и слѣдовательно стрѣлка пройдетъ всю окружность раздѣленнаго круга втеченіи одной минуты; если мы раздѣлимъ эту окружность на 60 равныхъ частей, то можемъ отсчитывать на ней секунды; раздѣливши

ее на 120 частей, можемъ отсчитывать полсекунды и т. д. Но этотъ приборъ все-таки современемъ остановится: ибо хотя маятникъ не долженъ уже приводить въ движеніе счетный механизмъ, и слѣдовательно преодолевать треній, въ немъ встрѣчающихся, но все-таки есть нѣкоторыя сопротивленія его движенію, именно сопротивленіе воздуха, треніе въ точкѣ опоры, треніе зубцовъ спускнаго колеса о крючки и т. д.; всѣ эти причины, замедляя постоянно движеніе маятника, дѣлаютъ размахи его все меньше и меньше; наконецъ случится, что маятникъ и совершенно остановится. Чтобы это не могло быть, очевидно достаточно, чтобы зубцы спускнаго колеса, постоянно побуждаемые къ движенію гирею, при каждомъ размахѣ маятника сообщали ему небольшой толчокъ, и тѣмъ вознаграждали потерю въ величинѣ размаха, происходящую отъ исчисленныхъ выше, замедляющихъ движеніе, причинъ. Для этого крючки якоря на концахъ своихъ срезаны косвенно такъ, что тотъ бокъ, которымъ они упираются въ переднюю сторону спускнаго зубца нѣсколько короче, чѣмъ тотъ, которымъ они прикасаются къ задней ея сторонѣ. Тогда зубецъ, сошедши съ болѣе короткой стороны крючка, скользитъ по его срезу, давитъ на него и т. обр. Длина размаха нѣсколько уве-

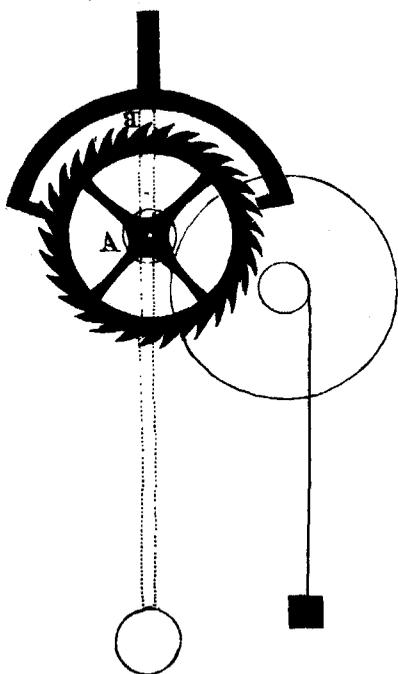
личивается. Такого устройства часы останутся только тогда, когда вследствие постепеннаго вращения колеса вся веревка сойдетъ съ вала; тогда придется рукою или какимъ ни есть другимъ способомъ навить опять веревку на валъ, и приборъ опять начнетъ измѣрять время. Это суть часы простѣйшаго устройства; они очевидно подходятъ вполне подъ то опредѣленіе машины, которое мы прежде сдѣлали; это есть весьма простая система твердыхъ и гибкихъ тѣлъ, связанныхъ между собою именно такъ, что каждая часть ея имѣетъ совершенно опредѣленное движеніе. Движущая сила здѣсь есть вѣсъ гири, которая опускается; первоначальное дѣйствіе этой силы здѣсь состоитъ въ томъ, что гиря получаетъ прямолинейное вертикальное движеніе; дѣйствіемъ же машины, это прямолинейное движеніе гири измѣняется въ круговое движеніе стрѣлки указывающей время; притомъ еслибы гиря была совершенно свободна, то она получила бы непрерывное и неровное движеніе книзу; дѣйствіемъ машины это непрерывное движеніе измѣняется въ другое, въ которомъ гиря то опускается, то стоитъ на мѣстѣ совокупно со всѣмъ механизмомъ часовъ.

Приборъ, который мы разобрали, представляетъ еще многія значительныя неудобства; онъ отмѣ-

часть только секунды, а не отмѣчаетъ ни минутъ, ни часовъ; кромѣ-того его придется поставить очень высоко, если хотимъ, напримѣръ, чтобы онъ могъ указывать время безостановочно втеченіи цѣлыхъ сутокъ. На самомъ дѣлѣ для этого необходимо рассчитать всѣ части, входящія въ составъ часовъ, такъ, чтобы шнуръ свился весь съ вала не менѣе какъ въ 25 часовъ; а какъ въ каждомъ часѣ находится 60 минутъ, то, слѣдовательно, должно рассчитать такъ элементы прибора, чтобы часы могли свободно двигаться втеченіи 1,500 минутъ; но въ минуту валь со стрѣлкою дѣлаетъ одинъ оборотъ; слѣдовательно, въ минуту съ вала свивается длина веревки равная его окружности; потому въ 25 часовъ съ него сойдетъ веревка по длинѣ равная 1,500 окружностямъ вала; положивши окружность вала равною одному вершку, мы увидимъ, что шнуръ долженъ имѣть длину равную 1,500 вершкамъ, или слишкомъ 93 аршинамъ, или что то же, 31 сажени; такъ-что не говоря уже о длинѣ шнура, пришлось бы эти часы поставить слишкомъ на 30 сажень выше поверхности земли. Высота непомѣрная, на которой конечно невозможно поставить часы уже по той простой причинѣ, что оттуда трудно ихъ видѣть. Конечно, можно тотчасъ же, если угодно, въ половину умень-

шить высоту, на которой поставятся часы; для этого стоит только конец веревки, соединенный съ гирею, прикрѣпить посредствомъ крючка къ неподвижному предмету, напр. къ подставкѣ, на которой стоятъ часы, и въ петлю, которая такимъ образомъ составитъ, повѣситъ гирю; тогда очевидно, что, когда колесо сдѣлаетъ одинъ оборотъ, то съ вала сойдетъ часть веревки по длинѣ равная окружности вала; слѣдовательно, длина всей петли сдѣлается длиннѣе на окружность вала; длина же каждаго конца ея увеличится лишь на половину этой окружности; слѣд. и гири спустится внизъ только на длину полуокружности вала; такимъ образомъ гири при 1,500 оборотахъ, которые сдѣлаетъ валъ в теченіи 25 часовъ, спустится только на 750 вершковъ или съ небольшимъ на 15 сажень, а слѣд. и мѣста для ея спуска нужно оставить только въ 15 сажень. Посредствомъ этого устройства, спускъ гири при вращеніи вала уменьшенъ вдвое; это уже значительное пособіе; но нельзя ли еще болѣе замедлить спускъ гири? Ибо все-таки у насъ нѣтъ комнатъ въ 15 сажень высоты, какихъ требуетъ помѣщеніе подобныхъ часовъ. Немного нужно подумать для того, чтобы открыть средство для такого замедленія движенія гири; вообразимъ, что на тотъ валъ, на которомъ си-

дить спускное колесо и стрѣлка, не навита веревка, а напротивъ, посажено хорошо обточенное кольцо (черт. 41), діаметромъ напр. въ 1 дюймъ; ниже этого вала расположенъ другой валъ, на которомъ сидитъ также хорошо обточенное кольцо, плотно прижатое къ первому и имѣющее діаметръ



Черт. 41.

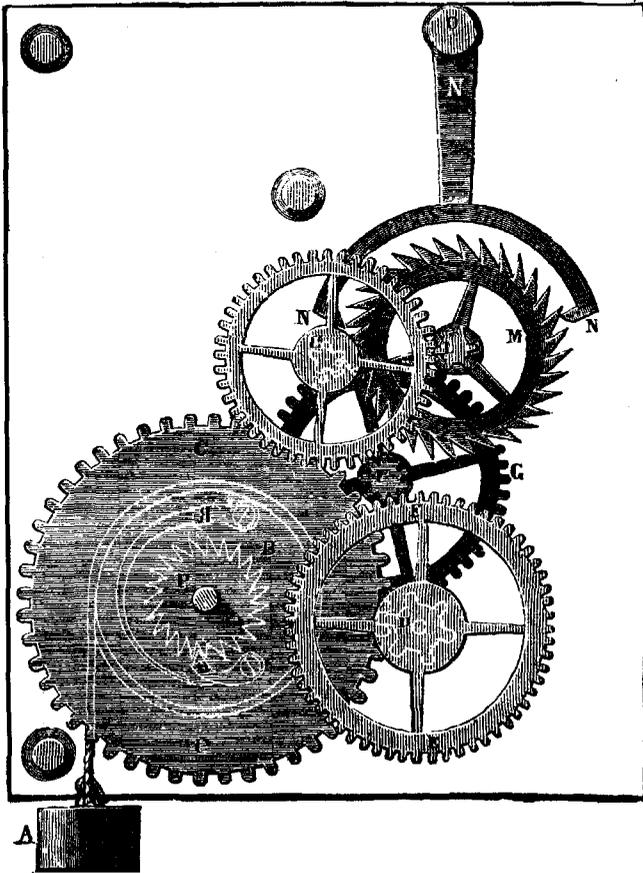
въ 6 дюймовъ, а уже на валъ этого послѣдняго, имѣющій какъ прежде одинъ вершокъ въ окружности, навита веревка, которая вытягивается дѣйствиємъ гири. Мы знаемъ, что если гиря станетъ обращать валъ, на который навита ея веревка, то кольцо надѣтое на этотъ валъ увлечетъ своимъ движеніемъ малое кольцо, надѣтое на валъ со стрѣлкою и со спускнымъ колесомъ; слѣд. прямолинейное движеніе гири будетъ преобразовано въ круговое движеніе стрѣлки точно такъ, какъ и прежде; разница будетъ состоять только въ слѣдующемъ:

на валъ этого послѣдняго, имѣющій какъ прежде одинъ вершокъ въ окружности, навита веревка, которая вытягивается дѣйствиємъ гири. Мы знаемъ, что если гиря станетъ обращать валъ, на который навита ея веревка, то кольцо надѣтое на этотъ валъ увлечетъ своимъ дви-

когда валъ съ веревкою сдѣлаетъ полный оборотъ, то каждая точка, на поверхности большаго кольца лежащая, совершитъ путь, по длинѣ равный окружности этого кольца; но точки лежащія на поверхности малаго кольца, находясь постоянно въ прикосновеніи съ большимъ, и не скользя по немъ движутся точно также, какъ точки лежащія на поверхности этого въ 6 разъ большаго кольца; слѣд. когда большое кольцо сдѣлаетъ полный оборотъ, то точки лежащія на поверхности малаго кольца пройдутъ путь равный окружности большаго, или 6 окружностямъ малаго кольца; слѣдовательно, кольцо это, а потому и валъ со стрѣлкою, на которомъ оно сидитъ, сдѣлаетъ 6 оборотовъ, пока большое кольцо сдѣлаетъ одинъ; но на каждый оборотъ верхняго вала со стрѣлкою потребна минута; слѣд. на полный оборотъ нижняго вала потребуется 6 минутъ, и слѣдовательно длина петли, въ которой виситъ гири, будетъ увеличиваться на вершокъ не въ минуту, какъ прежде, а только въ 6 минутъ, такъ, что вмѣсто прежнихъ 15 сажень пустаго мѣста подъ часами, ихъ потребуется только двѣ съ половиною. Такимъ образомъ посредствомъ прибавки двухъ плотно прижатыхъ другъ къ другу колець и одного вала можно уже, какъ видимъ, замедлить спускъ гири въ 6 разъ, и тѣмъ

самымъ въ шесть разъ выиграть мѣста для помѣщенія часовъ; но и въ этомъ видѣ приборъ еще неудобенъ. Одно изъ важныхъ неудобствъ его состоитъ въ томъ, что кольца должны быть очень сильно прижаты другъ къ другу, вслѣдствіе чего поверхности ихъ скоро стираются и самыя оси расшатываются. Но какъ только ободья колецъ хотя сколько-нибудь сотрутся, тотчасъ же передача движенія отъ вала съ веревкою къ валу со стрѣлкою прекратится, ибо не нажатые кольца не будутъ уже увлекать другъ друга своимъ движеніемъ; потому часы устроенные такимъ образомъ скоро будутъ портиться. Помочь этому недостатку очень просто; стоить только на каждомъ изъ колецъ нарѣзать черезъ равныя промежутки равныя между собою впадины, немного большія, чѣмъ промежутки между ними (очевидно, если на большомъ кольцѣ нарѣжемъ 48 такихъ впадинъ, то на маломъ кольцѣ ихъ помѣстится восемь); въ промежуткахъ же оставшихся между впадинами поставить выступы, которые могли бы входить въ эти впадины; тогда получимъ два зубчатыхъ колеса, которыя будутъ увлекать одно другое въ своемъ движеніи, несмотря на то, что оси ихъ не будутъ нажаты другъ къ другу. Меньшее изъ этихъ колесъ называется обыкновенно шестернею. Такимъ образомъ, первый упомянутый

нами недостатокъ будетъ устраненъ; другой недостатокъ этихъ часовъ состоитъ въ томъ, что въ нихъ веревка будетъ длиною все-еще 5 сажень; уничтожить этотъ недостатокъ возможно также посредствомъ зубчатыхъ колесъ съ шестернями; прилагаемый чертежъ представляетъ весьма упо-



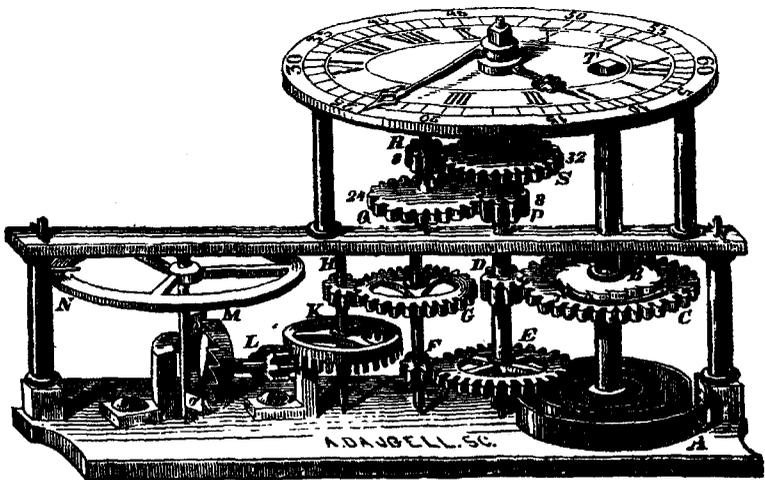
Черт. 42.

требительное ихъ расположеніе въ обыкновенныхъ стѣнныхъ часахъ (черт. 42). Здѣсь  $NNN$  есть

якорь, своими крючками могущій задѣвать за зубцы спускнаго колеса *M*; на одномъ валу съ этимъ колесомъ посажена шестерня *L* о шести зубцахъ. Съ этою шестернею сдѣпляется сидящее на особомъ валѣ колесо *N*, положимъ, съ 36 зубцами, такъ что, когда валъ съ колесомъ *N* сдѣлаетъ одинъ оборотъ, то спускное колесо сдѣлаетъ 6 оборотовъ; и слѣд. если по прежнему на каждый оборотъ спускнаго колеса потребна минута, то на одинъ оборотъ вала *N* потребно 6 минутъ; замѣтимъ это, и начнемъ далѣе разсматривать чертежъ. На одной оси съ колесомъ *N* сидитъ шестерня *H* съ пятью зубцами, а съ нею сдѣпляется колесо *G* съ 45 зубцами, такъ что, колесо *G* сдѣлаетъ 9 оборотовъ, когда колесо *N* сдѣлаетъ одинъ; а какъ колесо *N* дѣлаетъ одинъ оборотъ въ 6 минутъ, то колесо *G* сдѣлаетъ одинъ оборотъ въ 9 разъ 6 минутъ, или въ 54 минуты. На одной оси съ колесомъ *G* сидитъ шестерня *F* съ 9 зубцами, и съ нею сдѣпляется колесо *E* съ 45 зубцами; это колесо сдѣлаетъ одинъ оборотъ, когда шестерня *F* сдѣлаетъ 5 оборотовъ; но на каждый оборотъ шестерни *F* потребно 54 минуты; слѣдовательно колесо *E* сдѣлаетъ одинъ оборотъ въ 5 разъ 54 минуты или въ  $4\frac{1}{2}$  часа. Затѣмъ на одной оси съ колесомъ *E* сидитъ шестерня *D* съ шестью зуб-

цами; она сцепляется съ колесомъ *C* о 48 зубцахъ, слѣд. колесо сдѣлаетъ одинъ оборотъ, когда шестерня *D* сдѣлаетъ 6, а какъ на каждый оборотъ шестерня *D* употребляетъ  $4\frac{1}{2}$  часа, то колесо *C* сдѣлаетъ одинъ оборотъ въ 8 разъ  $4\frac{1}{2}$  часа или въ 36 часовъ; слѣдовательно, если веревка навита на валъ *B* только пять разъ, то эти часы могутъ ходить не останавливаясь втеченіи 5 разъ взятыхъ 36 часовъ или втеченіи  $7\frac{1}{2}$  сутокъ; если положимъ, что окружность вала *B* составляетъ даже 3 вершка, то наибольшій спускъ гири будетъ 5 разъ 3 вершка, или 15 вер., т. е., всего безъ одного вершка аршинъ. Такимъ образомъ приборъ сдѣланъ довольно простымъ и удобнымъ для употребленія. Но въ нашихъ часахъ есть еще неудобство; они показываютъ только секунды, а не указываютъ минутъ и часовъ, которые для насъ въ общежитіи важнѣе, чѣмъ секунды; какъ сдѣлать это? Да опять посредствомъ тѣхъ же шестерней и зубчатыхъ колесъ; въ примѣръ, который мы взяли, шестерня *H* дѣлаетъ одинъ оборотъ въ шесть минутъ; еслибы мы сцепили ее съ колесомъ въ 10 разъ бѣльшимъ этой шестерни, то ось, на которой сидитъ это колесо, сдѣлала бы одинъ оборотъ втеченіи 10 разъ взятыхъ 6 минутъ или втеченіи часа, а потому посадивши на эту ось минутную стрѣлку, мы получили бы,

что она совершитъ свой полный оборотъ втеченіи часа; часовая стрѣлка должна совершить полный оборотъ втеченіи 12 часовъ, и потому должна двигаться въ 12 разъ медленнѣе минутной; при этомъ замѣтимъ, что всего будетъ удобнѣе, если она будетъ вертѣться около той же оси, какъ и минутная, потому-что въ этомъ случаѣ не нужно будетъ для указанія часовъ особаго циферблата; чтобы получить такую стрѣлку, поступаютъ слѣдующимъ образомъ: на ось минутной стрѣлки (черт. 43, изображающій собою стараго устройства карманные часы съ раздвинутыми колесами) сажаютъ



Черт. 43.

шестерню *P* съ восемью зубцами, и сцѣпляютъ ее съ колесомъ *Q*, сидящимъ на другой оси и имѣю-

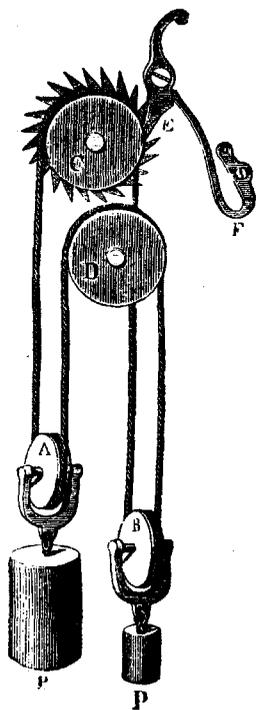
щимъ 24 зубца; такъ-какъ 8 въ три раза меньше 24, то очевидно, вторая ось сдѣлаетъ только одинъ оборотъ, когда минутная стрѣлка сдѣлаетъ 3 оборота, т. е., на каждый оборотъ второй оси потребно 3 часа; затѣмъ на эту вторую ось сажаютъ шестерню *R*, то же съ 8 зубцами, а на ось минутной стрѣлки надѣваютъ круглую трубку съ колесомъ *S* о 32 зубцахъ; такъ-какъ 8 въ четыре раза меньше 32, то, очевидно, трубка сдѣлаетъ одинъ оборотъ, когда ось съ шестернею сдѣлаетъ 4 оборота; но на каждый оборотъ оси съ шестернею потребно три часа, слѣдовательно, на одинъ оборотъ трубки требуется 12 часовъ; слѣд. на эту трубку мы и можемъ посадить часовую стрѣлку.

Замѣтимъ здѣсь, что посредствомъ довольно простой системы зубчатыхъ колесъ, мы передали здѣсь вращательное движеніе между валомъ со спусковымъ колесомъ и валомъ съ веревкою, и притомъ весьма значительно измѣнили скорость обращенія; валъ съ веревкою дѣлаетъ одинъ оборотъ въ 36 часовъ, т. е. въ 2,160 минутъ, а валъ со спусковымъ колесомъ дѣлаетъ одинъ оборотъ въ минуту.

Вотъ сущность устройства обыкновенныхъ стѣнныхъ часовъ; часы эти представляютъ еще одно довольно важное неудобство, именно — ихъ весьма трудно заводить; придется каждый разъ при за-

водѣ часовъ снимать гирию и пропускать веревку около вала нѣсколько разъ; поэтому для завода часовъ употребляютъ слѣдующее устройство: зубчатое колесо *C* сажаютъ на ось вала *B* съ веревкою вольно, то-есть такъ, что валъ можетъ вращаться около своей оси не увлекая за собою колеса, а къ колесу этому придѣлываютъ маленькій могущій вращаться около особой оси крючокъ, который можетъ входить между зубцами храпового колеса, глухо надѣтаго на ось вала *B*; крючокъ этотъ нажимается въ промежутки зубцовъ особою пружиною, и очевидно, если веревка будетъ такъ навита на валъ, что при ея свиваніи крючокъ или собачка опирается на переднюю сторону храпового зубца, то она, свиваясь, будетъ увлекать за собою колесо, и приведетъ часы въ движеніе; если же на продолженіе оси вала надѣнемъ ключъ и станемъ вращать валъ въ сторону противоположную, то крючокъ, касаясь къ задней поверхности храповыхъ зубцовъ, будетъ скользить по нимъ, и слѣдовательно колесо не приметъ участія въ этомъ обращеніи вала; весь механизмъ часовъ, не побуждаемый болѣе гирию, остановится и мы посредствомъ вращенія вала наведемъ на него снова веревку, т.-е. завведемъ часы. Происходящая отъ этой остановки часовъ во время завода погрѣшность въ измѣреніи времени для обы-

кновенныхъ часовъ слишкомъ мала для того, чтобы обращать на нее серьезное вниманіе, но въ астрономическихъ часахъ подобная погрѣшность не можетъ быть допущена, а потому тамъ придумано особое устройство для завода часовъ, или что то же, для подъема гири; оно изображено на чертежѣ 44. *D* изображаетъ валъ соединенный съ первымъ зубчатымъ



Черт. 44.

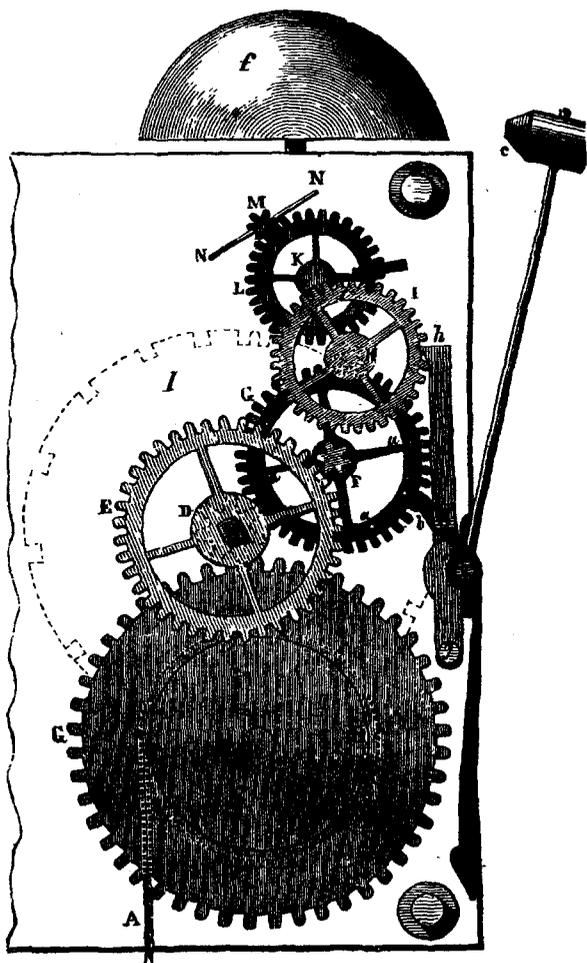
колесомъ; этотъ валъ, будучи приводимъ въ движеніе гирею *p*, двигаетъ весь механизмъ; веревка спускающаяся съ этого вала составляетъ петлю, другой конецъ которой идетъ черезъ шхивъ *C*, и спускаясь съ него образуетъ новую петлю, другимъ концомъ поднимающуюся на шхивъ *D*, такъ-что здѣсь веревка не имѣетъ концовъ, а составляетъ двѣ петли, висящія съ обѣихъ сторонъ шхивовъ *C* и *D*; въ одной изъ этихъ петель виситъ на блокѣ *A* большая, а въ другой на блокѣ *B*

малая гиря; веревка стремится скользить по обоимъ шхивамъ въ сторону большей гири, но не можетъ, вслѣдствіе сильнаго тренія объ ихъ поверхность, и

потому приводитъ въ обращеніе шхивъ *B* и весь механизмъ часовъ. Она стала бы вращать и шхивъ *C*, еслибы тому не мѣшалъ крючокъ *E*, входящій въ промежутки храповаго колеса, соединеннаго съ этимъ шхивомъ, и нажимаемый къ нему пружиною *F*. Вслѣдствіе же дѣйствія этого крючка, шхивъ *C* вращаться не можетъ въ сторону большей гири; но очевидно, ничто не помѣшаетъ ему вращаться въ сторону меньшей гири, если мы рукою потянемъ веревку въ эту сторону; изъ этого видно, что для завода часовъ нужно только съ достаточнымъ усиліемъ тянуть конецъ веревки, спускающійся съ шхива *C*, и идущій къ малой гирѣ. Тогда большая гиря *p* будетъ подыматься, но часы при этомъ подъемѣ не останоятся, ибо эта гиря, подымаясь вслѣдствіе нашего усилія, все-таки вытягиваетъ конецъ веревки, идущій отъ нея на шхивъ *D*, и слѣд. приводитъ въ движеніе весь механизмъ часовъ.

Обыкновенные стѣнные часы, которые мы описали, не имѣютъ боя; если хотимъ имѣть часы съ боемъ, то должно прибавить къ нашему прибору еще цѣлую систему колесъ, которая бы сообщала надлежащее движеніе особому молотку и приводила его, въ опредѣленные мгновенія, въ соприкосновеніе съ колѣколомъ. Боевой приборъ въ

томъ видѣ, какъ онъ устроивается въ обыкновенныхъ стѣнныхъ часахъ, изображенъ на чертежѣ 45. *B* есть валъ, съ котораго можетъ свиваться



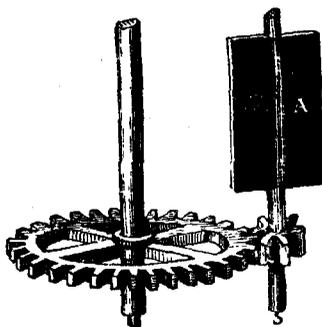
Черт. 45.

прикрѣпленная къ нему однимъ концомъ веревка; на другой конецъ этой веревки повѣшена особая

боевая гиря; на этомъ валѣ сидитъ обращающесея вмѣстѣ съ нимъ зубчатое колесо *C*, которое для большей простоты чисель мы положимъ о 49 зубцахъ; съ нимъ сцѣпляется обращающаяся около другой оси шестерня *D* съ 7 зубцами, такъ-что валъ *H* сдѣлаеть одинъ оборотъ, и слѣд. съ него сойдетъ длина веревки равная его окружности въ ту пору, какъ шестерня *D* и глухо съ нею соединенное колесо *E* сдѣлають 7 оборотовъ; колесо *E* имѣеть 39 зубцовъ; оно сцѣпляется съ шестернею *F* о шести зубцахъ; слѣдовательно, при каждахъ 6 оборотахъ колеса *E*, шестерня *F* сдѣлаеть 39 оборотовъ, а слѣд. при 2 оборотахъ колеса *E*, шестерня *F* и соединенное съ нею колесо *G* сдѣлаеть 13 оборотовъ. Колесо *G* имѣеть на себѣ 60 зубцовъ, а сцѣпляющаяся съ нимъ шестерня *H* только 5; слѣдовательно, шестерня *H* и соединенное съ нимъ колесо *I* сдѣлають 12 оборотовъ, пока колесо *G* сдѣлаеть одинъ; поэтому колесо *I* сдѣлаеть 13 разъ 12 или 156 оборотовъ, когда колесо *G* сдѣлаеть 13; а это колесо дѣлаеть 13 оборотовъ, пока колесо *E* дѣлаеть 2; слѣдовательно, колесо *I* дѣлаеть свои 156 оборотовъ, когда *E* дѣлаеть ихъ два, или что то же, колесо *I* дѣлаеть 78 оборотовъ, когда колесо *E* дѣлаеть одинъ. Замѣтимъ это число; оно будетъ для насъ впослед-

ствіи важно; теперь же пока изъ него заключимъ, что колесо *I* дѣлаеть 7 разъ 78 или 546 оборотовъ, когда валъ съ веревкою дѣлаеть только одинъ. Далѣе колесо *I* имѣеть на себѣ 36 зубцовъ, а шестерня *K*, съ которою онъ сцѣпляется, имѣеть только 6 зубцовъ; слѣдовательно, въ ту пору, какъ колесо *I* повернется одинъ разъ, шестерня *K* и ея колесо *L* сдѣлають 6 оборотовъ; когда же колесо *I* сдѣлаеть 546 оборотовъ (или когда валъ *B* повернется одинъ разъ), то колесо *L* сдѣлаеть 6 разъ 546 оборотовъ или 3,276 оборотовъ; наконецъ само колесо *L* имѣеть тоже 36 зубцовъ, а шестерня *M* имѣеть ихъ шесть; слѣд., дѣлая 6 оборотовъ когда колесо *L* сдѣлаеть одинъ, эта шестерня *M* сдѣлаеть 6 разъ 3,276 или 19,656 оборотовъ, когда валъ *C* сдѣлаеть одинъ оборотъ.

Изъ этого видно, что шестерня *M* вращается чрезвычайно быстро, если только боевая гиря сво-



Черт. 46.

бодно спускается; на одной оси съ этою шестернею сидятъ лопатки *N*, *N*, отдѣльно изображенныя на чертежѣ 46. Приходя въ быстрое обращеніе, они весьма сильно ударяются объ окружающій

ихъ воздухъ, который представляетъ тѣмъ сильнѣйшее сопротивленіе ихъ движенію, чѣмъ скорѣе онѣ движутся, и замедляетъ его; понятно, что если оставимъ одну и ту же гирию приводить въ движеніе приборъ, а увеличимъ площадь лопатокъ, то сопротивленіе, оказываемое воздухомъ, сдѣлается сильнѣе, и весь приборъ станетъ двигаться медленнѣе; если же уменьшимъ площадь лопатокъ, оставивши опять ту же самую гирию приводить его въ движеніе, то приборъ и всѣ его колеса стануть двигаться быстрѣе; понятно, что можно посредствомъ попытокъ дойти до того, что когда ничто не мѣшаетъ движенію прибора, то колесо  $I$  и шестерня  $H$  обращаются одинъ разъ въ секунду; примемъ это число для простоты. Замѣтимъ это, и взглянемся хорошенько въ колесо  $I$ ; мы увидимъ на немъ сбоку небольшой штифтикъ  $i$ , который при обращеніи колеса отъ дѣйствія гири будетъ приближаться къ плоской грани, оканчивающей рычагъ  $gh$  могущій вращаться около оси  $g$ ; вообразимъ, что штифтикъ  $i$  ударился объ эту грань; онъ остановится, ибо грань  $h$  рычага  $gh$  не позволитъ ему продолжать движенія; при этомъ остановятся и всѣ колеса, входящія въ составъ нашей машины, остановится и гирия, сообщающая имъ дви-

женіе, и лопатки или крылья  $N$ , которыя замедляютъ это движеніе.

Въ этомъ состояніи будетъ находиться боевой приборъ, пока не наступитъ часамъ время бить; воспользуемся этимъ временемъ, чтобы подробнѣе разсмотрѣть устройство остальныхъ частей нашего прибора; мы увидимъ, что на колесѣ  $G$ , имѣющемъ 45 зубцовъ, черезъ каждые 5 зубцовъ поставлено по небольшому колышку или штифтику, которые на чертежѣ обозначены буквами  $a, a$ ; такъ-какъ и шестерня  $H$  имѣетъ тоже 5 зубцовъ, то очевидно, что при одномъ оборотѣ этой шестерни, колесо  $G$  повернется именно на пять зубцовъ, т. е. на часть своей окружности, заключенную между двумя сряду стоящими колышками. Если разсмотримъ устройство нашего прибора далѣе, то увидимъ, что эти колышки при вращеніи своемъ непремѣнно должны зацѣплять собою небольшое плечо  $b$ , могущее вращаться около оси  $c$ . Плечо это соединено неизмѣнно съ гибкою ручкою, на концѣ которой находится молотокъ  $e$ ; затѣмъ увидимъ, что рычагъ  $b$  соединенъ съ пружиною такимъ образомъ, что когда колышекъ  $a$ , поднявши его край и приведши въ изображенное на чертежѣ положеніе, пойдеть наконецъ мимо его, то пружина, согнутаяся при восходящемъ движеніи плеча  $b$ , давленіемъ на

него приведетъ и его и соединенные съ нимъ ручку и молотокъ въ первоначальное ихъ положеніе, причѣмъ ручка молотка станетъ прямо по вертикальной линіи, а молотокъ, дошедши уже очень близко до колокола, вслѣдствіе пріобрѣтеннаго имъ движенія не можетъ тотчасъ остановиться, а подвинется еще дальше, изогнетъ нѣсколько свою ручку, коснется колокола *f* и произведетъ по немъ ударъ; такъ-что здѣсь колышекъ *a*, отклоняя молотокъ отъ его первоначальнаго положенія, дѣйствуетъ точно такъ же, какъ мы дѣйствуемъ въ часто употребляемыхъ нынѣ звонкахъ, принимающихъ ударъ снаружи; въ этихъ звонкахъ ручка, на которой сидитъ молотокъ, упругая; мы отдаляемъ ее своею рукою отъ звонка, и подѣ дѣйствіемъ ея упругости молотокъ не только возвращается въ прежнее положеніе, но переходитъ его, приближается къ колоколу и производитъ въ него ударъ; при этомъ ударѣ онъ теряетъ свое движеніе, и только вслѣдствіе упругости согнутой имъ ручки, возвращается назадъ, колеблется нѣсколько времени около своего средняго положенія, и наконецъ въ немъ останавливается. То же самое бываетъ и въ часахъ; молотокъ *e* дѣлаетъ одинъ ударъ тотчасъ послѣ того, какъ изъ-подъ плеча *b*, при вращеніи колеса *G*, выходитъ одинъ изъ колышковъ *a*; но подѣ него

подходить при каждомъ оборотѣ колеса *I* одинъ изъ такихъ колышковъ; слѣдовательно, при каждомъ оборотѣ колеса *I* молотокъ дѣлаетъ по колоколу одинъ ударъ.

Разсмотримъ далѣе нашъ приборъ; мы увидимъ, что рычагъ *gh* соединенъ особеннымъ образомъ съ часовымъ механизмомъ, такъ, что когда минутная стрѣлка приходитъ на цифру XII, то этотъ рычагъ *gh* отклоняется отъ своего положенія вправо; для бѣльшей простоты мы можемъ на примѣръ представить себѣ, что это соединеніе произведено такимъ образомъ, что внутри часовъ на оси минутной стрѣлки утвержденъ одинъ небольшой выступъ, который упирается въ рычагъ *gh* немного передъ тѣмъ мгновеніемъ, какъ стрѣлка придетъ на XII и приводитъ его въ движеніе совершенно подобно тому, какъ колышекъ *a*, упираясь въ рычагъ *b*, его поднимаетъ; положимъ, что длина этого выступа взята такъ, что штифтикъ *i* вслѣдствіе постепеннаго отклоненія рычага освобождается отъ опоры на грань *h*, именно въ то время, когда минутная стрѣлка дошла до цифры XII; тогда и начнется бой часовъ, ибо весь приборъ придетъ въ движеніе; единственное ему препятствіе представляла опора штифта *i* на грань рычага *h*, а когда этотъ рычагъ отклонился вправо, то весь

приборъ можетъ придти въ движеніе, и молотъ  $e$ , будетъ дѣлать столько ударовъ, сколько колесо  $I$  сдѣлаетъ оборотовъ; но еслибы весь боевой приборъ состоялъ только изъ этихъ частей, то очевидно, пришедши одинъ разъ въ движеніе, онъ остановился бы только тогда, когда вся веревка свилась бы съ вала  $B$ , и слѣд. молотокъ сдѣлалъ бы очень большое число ударовъ сразу, и затѣмъ пересталъ бы дѣйствовать; пришлось бы снова поднять гирю, то-есть завести часы, поставить рычагъ  $gh$  опять такъ, чтобы штифтъ  $i$  въ него уперся и затѣмъ ожидать новаго боя, и т. д. Чтобы устранить это очевидное неудобство, за рычагомъ  $gh$  направо поставлена пружина, которая сгибается, когда рычагъ  $gh$  дѣйствіемъ часовъ отклоняется вправо; когда выступъ, предположенный нами на оси минутной стрѣлки, отклонивши рычагъ  $gh$ , перестанетъ давить на него, то пружина приметъ свое дѣйствіе и своимъ давленіемъ на этотъ рычагъ приведетъ его въ прежнее положеніе. Если гиря и площадь лопатокъ или крыльевъ  $N$  будутъ рассчитаны такъ, что колесо  $I$  не успѣетъ еще сдѣлать одного оборота, какъ рычагъ  $gh$  уже придетъ въ прежнее положеніе, то очевидно, что штифтъ  $i$ , возвратившись назадъ, встрѣтитъ опять грань  $h$  этого рычага, слѣд. молотокъ сдѣ-

лаетъ только одинъ ударъ и весь боевой приборъ опять остановится, такъ-что наши часы въ концѣ каждаго часа будутъ производить только одинъ ударъ. Но въ дѣйствительности мы знаемъ, что часы бьютъ сряду разное число ударовъ: одинъ, два, три и такъ далѣе до 12; чтобы произвести это, къ боевому прибору прибавляется еще одна часть, которую мы теперь и рассмотримъ. Эта часть есть особое колесо  $l$ , сидящее на одной оси съ шестернею  $D$  и по окружности своей имѣющее 12 равныхъ между собою выемокъ; 12 же выступовъ, которые остаются между ними—неравны; самый малый изъ нихъ вмѣстѣ съ сосѣднею впадиною, составляетъ  $\frac{1}{78}$  часть всей окружности колеса  $l$ ; промежутокъ слѣдующій за нимъ вмѣстѣ съ возлѣ него стоящею впадиною составляетъ  $\frac{2}{78}$ , слѣдующій затѣмъ  $\frac{3}{78}$ , и т. д.; послѣдній вмѣстѣ съ возлѣ него стоящею впадиною составляетъ  $\frac{12}{78}$  всей окружности колеса. Колесо это такой ширины, что доходитъ до самаго рычага  $gh$ , на которомъ находится остріе  $k$ , помѣщающееся въ то время, какъ боевой приборъ стоитъ и рычагъ  $gh$  вертикаленъ въ одной изъ впадинъ этого колеса  $l$ ; какъ же только рычагъ  $gh$  будетъ отодвинутъ отъ своего вертикальнаго положенія вправо, то тотчасъ и остріе  $k$  выходитъ изъ впадины колеса  $l$ , приборъ при-

ходить въ движеніе, и подѣ остріе  $k$  подходитъ выдающійся между впадинами колеса  $L$  выступъ; онъ удерживаетъ рычагъ  $gh$  въ наклоненномъ на право положеніи до тѣхъ поръ, пока колесо  $l$  не обернется на столько, что подѣ остріе  $k$  подойдетъ новая впадина колеса  $l$ ; тогда пружина нажимающая рычагъ  $gh$  получивъ свое дѣйствіе, приведетъ его въ вертикальное положеніе, и остріе  $k$  опять помѣстится между выемками. На основаніи всего этого не трудно видѣть. какъ будутъ бить часы; на самомъ дѣлѣ пусть остріе  $k$  рычага  $gh$  помѣщается во впадинѣ между самымъ малымъ и самымъ большимъ промежуткомъ, и пусть дѣйствіемъ часоваго механизма рычагъ  $gh$  отклоненъ въ сторону; очевидно, что какъ-только колесо  $l$  повернется такъ, что слѣдующая впадина подойдетъ подѣ  $k$ , т.-е. какъ-только это колесо сдѣлаетъ  $\frac{1}{78}$  долю своего оборота, рычагъ  $gh$  возвратится въ прежнее положеніе и бой часовъ прекратится; но колесо  $l$  дѣлаетъ 78 оборотовъ, когда  $l$  дѣлаетъ одинъ, слѣдовательно дѣлаетъ одинъ оборотъ, когда  $l$  повертывается на  $\frac{1}{78}$  долю; кромѣ того при одномъ оборотѣ колеса  $l$  молотокъ  $e$  ударяетъ въ колоколь  $f$  одинъ разъ; слѣд. часы у насъ пробьютъ одинъ разъ; затѣмъ послѣдуетъ установка боеваго прибора; когда вновь рычагъ  $gh$

будетъ выведенъ изъ своего положенія (что случится, когда стрѣлка снова придетъ на XII), то остріе  $k$  не прежде попадетъ во впадину колеса  $l$  и боевой приборъ не прежде остановится, какъ только тогда, когда колесо  $l$  сдѣлаетъ  $\frac{2}{78}$  оборота, ибо выпуклый промежутокъ этого колеса, не позволяющій теперь рычагу  $gh$  придти въ вертикальное положеніе, составляетъ вмѣстѣ со впадиною за нимъ слѣдующую  $\frac{2}{78}$  доли всей окружности колеса  $l$ ; поэтому боевой приборъ остановится только послѣ того, какъ колесо  $l$  сдѣлаетъ два оборота, а слѣд. часы пробьютъ 2; затѣмъ боевой приборъ опять будетъ стоять, пока минутная стрѣлка не станетъ на XII; тогда снова рычагъ  $gh$  будетъ отклоненъ отъ своего положенія вправо, и возвратится въ него только послѣ того, какъ колесо  $l$  сдѣлаетъ  $\frac{3}{78}$  своего оборота и, слѣдовательно, колесо  $l$  сдѣлаетъ три оборота, и слѣдовательно молотокъ ударится три раза о колоколъ  $f$ , и такъ далѣе.

Замѣтимъ еще здѣсь, что для бѣльшей краткости всѣхъ предъидущихъ выраженій, мы говорили рычагъ  $gh$  воротится въ прежнее свое положеніе *послѣ того*, какъ колесо  $l$  сдѣлаетъ  $\frac{1}{78}$ ,  $\frac{2}{78}$ ,  $\frac{3}{78}$  и т. д. своего оборота; собственно говоря, это невѣрно, потому-что  $\frac{3}{78}$  доли оборота колеса  $l$

образуются и выемкою его и выступомъ въ совокупности; а какъ-только одинъ выступъ пройдетъ подъ остриемъ  $k$ , тотчасъ же рычагъ можетъ возвратиться въ прежнее положеніе; въ дѣйствительности это такъ и будетъ, такъ-что рычагъ  $gh$  придетъ въ вертикальное положеніе нѣсколько прежде, чѣмъ колесо  $I$  совершитъ полныхъ три оборота, но какъ при этомъ острие  $k$  не упрется въ слѣдующій затѣмъ выступъ, то весь боевой механизмъ можетъ продолжать свое движеніе, пока штифтъ  $i$  колеса  $I$  не опрется на грань  $h$  уже стоящаго вертикально рычага  $gh$ ; останавливается слѣд. боевой приборъ только послѣ того, какъ колесо  $I$  совершитъ полныхъ 3 оборота, и притомъ не дѣйствіемъ острия  $k$ , а исключительно дѣйствіемъ штифта  $i$ , который передъ началомъ боя непремѣнно лежитъ на грани  $h$  рычага  $gh$ .

При этомъ устройствѣ боевой приборъ будетъ приходить въ дѣйствіе по истеченіи каждаго часа, и будетъ бить каждый разъ одинъ, два, три, четыре и т. д. часовъ; еслибы мы хотѣли, чтобы этотъ приборъ отмѣчалъ тоже получасы, то нужно бы было въ его устройствѣ сдѣлать три измѣненія.

1) На оси минутной стрѣлки сдѣлать два выступа, прямо противоположныхъ, изъ которыхъ одинъ долженъ отодвигать вправо рычагъ  $gh$ , ко-

гда минутная стрѣлка стоитъ противъ XII, а другой, когда она стоитъ противъ VI.

2) Такъ-какъ въ сутки часы должны сдѣлать уже не 78 ударовъ, а 90, то нужно устроить колеса *E*, *G*, и шестерни *F*, *H* такимъ образомъ, чтобы колесо *I* дѣлало уже не 78, а 90 оборотовъ при одномъ оборотѣ колеса *E* или что то же колесо *I*.

3) Такъ-какъ часы должны бить 24 раза въ сутки, то на колесѣ *I* нужно будетъ сдѣлать не 12 уже выемокъ и выступовъ, а 24, и такъ-какъ всѣхъ ударовъ будетъ 90 въ такомъ порядкѣ:

1, 1, 2, 1, 3, 1, 4, 1, 5, 1, 6, 1, 7, 1, 8, 1, 9,  
1, 10, 1, 11, 1, 12, 1,

то и придется сдѣлать такъ, чтобы длина самага малаго выступа вмѣстѣ съ прилежащею ему впадиною составляла  $\frac{1}{90}$  долю всей окружности колеса *I*; такихъ выступовъ должно сдѣлать сряду три; затѣмъ долженъ слѣдовать выступъ, котораго длина вмѣстѣ съ впадиною составляетъ  $\frac{2}{90}$ , затѣмъ выступъ котораго длина вмѣстѣ съ прилежащею къ нему впадиной составляетъ  $\frac{1}{90}$ , затѣмъ  $\frac{3}{90}$ , затѣмъ опять  $\frac{1}{90}$  для получасоваго боя, затѣмъ  $\frac{4}{90}$ ,  $\frac{1}{90}$ ,  $\frac{5}{90}$ ,  $\frac{1}{90}$ ,  $\frac{6}{90}$ ,  $\frac{1}{90}$ ,... и такъ далѣе. Каждый самъ пойметъ, послѣ этихъ объясненій, какъ должно устроить часы, чтобы они отмѣчали однимъ ударомъ не только получасы, но и четверти;

наконецъ, какъ ихъ должно устроить, чтобы они четверти отмѣчали однимъ, а полчаса двумя ударами. Общее правило будетъ слѣдующее: сосчитайте, сколько ударовъ, и въ какомъ порядкѣ часы должны въ сутки сдѣлать; устройте передачу движенія отъ колеса *E* къ колесу *I* такъ, чтобы это послѣднее при одномъ оборотѣ *E* или *I* дѣлало ровно столько оборотовъ, сколько ударовъ должны сдѣлать въ сутки часы; затѣмъ раздѣлите окружность *I* на такое же число равныхъ частей; одну изъ этихъ частей раздѣлите напр. пополамъ и на половинѣ сдѣлайте выемку, а другую половину оставьте для выступа; когда остріе *k* будетъ проходить мимо этого выступа, часы сдѣлаютъ одинъ ударъ. Затѣмъ вспомните сколько ударовъ должны слѣдовать за этимъ однимъ ударомъ; если опять одинъ, то опять отложите одно дѣленіе и на половинѣ его сдѣлайте выемку; если два, то отложите два дѣленія и на половинѣ одного изъ нихъ сдѣлайте выемку; если три, то отложите три дѣленія, и на половинѣ одного изъ нихъ сдѣлайте выемку, а длину остальныхъ  $2\frac{1}{2}$  дѣленій оставьте для выступа, и т. д. Расположите затѣмъ штифтъ *i* на колесѣ *I* такъ, чтобы остріе *k* не касалось краевъ впадины, въ которой помѣщается, когда этотъ штифтъ упирается въ рычагъ *gh*;—и наконецъ соедините ры-

чагъ *gh* съ механизмомъ часовъ такъ, чтобы онъ при одномъ полномъ оборотѣ минутной стрѣлки, отклонился вправо ровно столько разъ, сколько разъ часы начинаютъ бить.

Въ механизмѣ, который мы разобрали, ясно видно, какимъ образомъ прямолинейное движеніе гири преобразуется посредствомъ вала въ вращательное движеніе; какъ затѣмъ это вращательное движеніе, посредствомъ не очень сложной системы шестерней и колесъ, постепенно передается и вмѣстѣ съ тѣмъ скорость его возрастаетъ почти въ 20 тысячъ разъ; какъ крылатый маховикъ, находящійся въ концѣ этой системы, умѣряетъ ея движеніе, которое подъ дѣйствиємъ постепенно спускающейся гири становилось бы все скорѣе-и-скорѣе, такъ, что удары прибора, когда часы бьютъ на примѣръ 12, сначала довольно между собою удаленные, сдѣлались бы потомъ чрезвычайно часты, такъ, что не было бы никакой возможности слѣдить за ними; слѣдовательно, крылатый маховикъ въ боевомъ приборѣ играетъ ту же роль уравнивателя, какую въ собственно часовомъ приборѣ играетъ маятникъ, только способъ ихъ дѣйствія существенно различенъ; маятникъ въ часовомъ механизмѣ останавливаетъ весь приборъ по истеченіи опредѣленнаго времени, именно по окончаніи каждаго своего

размаха; крылатый же маховик уравнивает движение не останавливая его; какъ-только движение сдѣлается немножко быстрее, сопротивление встрѣчаемое маховикомъ отъ воздуха усилится и движение прибора опять станетъ медленнѣе, а какъ-только вслѣдствіе какихъ бы то ни было причинъ, напр. ударовъ колышковъ *a* о плечо *b* соединенное съ молоткомъ, движение замедлится, то и сопротивление воздуха станетъ меньше, и ходъ прибора опять сдѣлается скорѣе. Крылатый маховикъ поэтому представляетъ прекрасное средство для того, чтобы уравнивать движение; но имъ, какъ мы видѣли, не пользуются для собственно-часоваго механизма; причина заключается въ томъ, что сопротивление воздуха, завися отъ быстроты вращенія лопатокъ, зависитъ еще отъ множества другихъ случайныхъ причинъ, и можетъ при одной и той же скорости крыльевъ маховика измѣняться хотя и въ довольно тѣсныхъ предѣлахъ; маятникъ не такъ сильно подверженъ этимъ случайнымъ измѣненіямъ отъ температуры, плотности воздуха и т. д. Самое сильное вліяніе на него оказываетъ конечно температура; при ея возвышеніи маятникъ становится длиннѣе, и вмѣстѣ съ тѣмъ увеличивается продолженіе его размаховъ, — при уменьшеніи температуры онъ становится короче и продолженіе его размаховъ

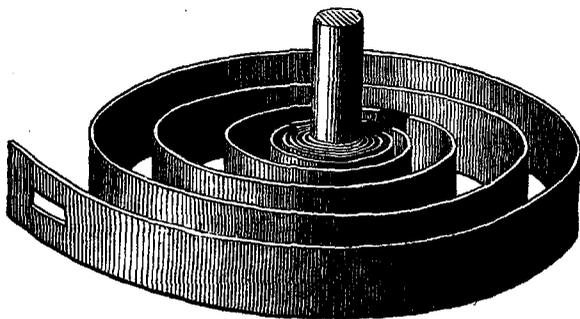
уменьшается. Въ первомъ случаѣ часы отстаютъ, во второмъ идутъ впередъ; чтобы устранить это неудобство, внизу стержня, на который надѣта чечевица, оканчивающая маятникъ, въ порядочныхъ часахъ нарѣзывается винтъ и на него надѣвается гайка, которая и мѣшаетъ чечевицѣ упасть со стержня; чтобы укоротить маятникъ и, слѣд., ускорить ходъ часовъ, нужно вращать гайку слѣва направо; гайка всходя вдоль по винту и подвинетъ весьма немного чечевицу кверху, вслѣдствіе чего маятникъ сдѣлается короче; конечно, можно бы было подвигать и чечевицу рукою, но не имѣя никакой возможности судить въ точности о томъ, на сколько мы подняли или опустили маятникъ, мы съ величайшимъ развѣ трудомъ могли бы поставить маятникъ какъ слѣдуетъ, тѣмъ болѣе, что чечевицу часто придется поднять или спустить на весьма небольшую величину, напр. на одну точку, или на  $\frac{1}{10}$  линіи. Винтъ съ очень мелкими нарѣзками (ихъ часто бываетъ до 50 на длинѣ одного дюйма), оказываетъ здѣсь очень важныя услуги; на самомъ дѣлѣ, если на длинѣ одного дюйма находится 50 нарѣзокъ винта, то гайка подыметъ по винту на одинъ дюймъ только уже послѣ того, какъ сдѣлаетъ 50 оборотовъ, слѣд., при одномъ полномъ оборотѣ гайка подымается по винту на  $\frac{1}{50}$

долю дюйма, т.-е., на двѣ точки; слѣд. дѣлая 1 полуоборотъ гайки, что довольно большая величина, на которую мы можемъ очень точно подвинуть гайку рукою, мы поднимемъ чечевицу въ точности на одну точку, и будемъ знать, что подняли дѣйствительно на одну точку; если окажется, что при этой укороченной длинѣ маятника, часы начинаютъ идти впередъ, то это покажетъ, что мы слишкомъ сильно подняли чечевицу; ее опять нужно опустить, и притомъ мы знаемъ, что для этого спуска нужно повернуть гайку справа налѣво меньше, чѣмъ на половорота; попробуемъ повернуть на  $\frac{1}{4}$ ; если окажется, что при этомъ часы начинаютъ отставать, то придется повернуть гайку опять слѣва направо, но уже меньше чѣмъ на  $\frac{1}{4}$  оборота; такимъ образомъ постепенно мы можемъ приближать маятникъ къ его истинной длинѣ и быть вполне увѣрены, что каждая слѣдующая операція не уничтожитъ дѣйствія предъидущихъ, какъ это весьма легко можетъ случиться, если мы станемъ передвигать чечевицу рукою.

Въ заключеніе этого разбора часовъ напомнимъ, что движитель въ нихъ есть вѣсъ гири; уравни- тель же движенія есть маятникъ; это устройство весьма удобно, когда мы имѣемъ стѣнные часы, подъ которыми есть довольно мѣста для движенія

и гири, и маятника; въ столовыхъ часахъ иногда можно еще помѣстить маятникъ, но для гири рѣшительно нѣтъ мѣста; въ карманныхъ же часахъ, которые могутъ занимать весьма различныя положенія, разумѣется, и маятникъ представить весьма значительныя неудобства. Посмотримъ же, нельзя ли главный валъ часовъ, который приводился въ движеніе гирею, вращать посредствомъ какой-нибудь другой силы, которая бы позволяла еще болѣе уютное устройство и помѣщеніе часовъ.

Превосходное средство для достиженія этой цѣли представляетъ намъ упругость пружинъ (черт. 47); вообразимъ ось, къ которой прикрѣпленъ одинъ конецъ спирально согнутой пружины, тогда какъ

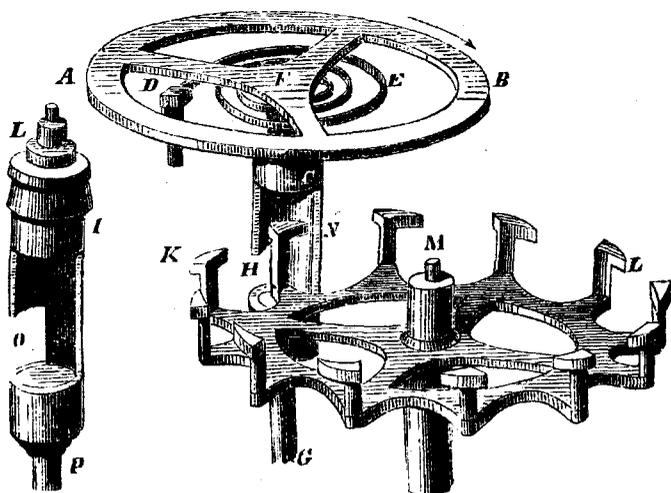


Черт. 47.

другой конецъ укрѣпленъ неподвижно; если мы ключемъ или рукою станемъ ворочать эту ось такъ, чтобы пружина сгибалась все болѣе-и-болѣе, и за-

тѣмъ отнимемъ то усиліе, которымъ вращали ось, то пружина начнетъ разгибаться и при этомъ станетъ вращать ось, къ которой прикрѣпленъ ея конецъ въ направленіи прямо противоположномъ тому, въ которомъ мы её вращали, точно такъ же, какъ ось вала, на которой мы навивали веревку, по отнятіи ключа начинала двигаться въ сторону прямо противоположную; слѣд. вмѣсто движителя для большаго удобства въ карманныхъ часахъ можемъ употребить пружину; ось, которую движетъ эта пружина, мы можемъ соединить посредствомъ зубчатыхъ колесъ съ часовой и минутною стрѣлкою совершенно подобно тому, какъ въ стѣнныхъ часахъ, но чтобы эти стрѣлки дѣйствительно передвигались какъ слѣдуетъ, необходимо еще поставить особый приборъ, который позволялъ бы оси передвигаться каждую напр. полсекунду не болѣе, какъ на одинъ извѣстный уголъ. Эти приборы бывають различны; въ старинныхъ часахъ для этой цѣли употреблялось соединеніе улитковиднаго колеса съ возвратнымъ спускомъ, въ хронометрахъ употребляется такъ-называемый свободный спускъ, къ которому очень близокъ якорный спускъ въ анкерныхъ часахъ, но всего чаще въ обыкновенныхъ плоскихъ часахъ употребляется такъ-называемый цилиндрической спускъ (черт. 48), который мы

здѣсь и опишемъ. Вотъ въ чемъ состоитъ этотъ спускъ; въ часахъ находится особая ось, на которой сидитъ кружокъ могущій около нея вращаться; къ ступицѣ, которою этотъ кружокъ надѣтъ на ось, прикрѣпленъ одинъ конецъ спиральной пружины или волоска; другой конецъ этого волоска укрѣпленъ неподвижно; если мы отклонимъ кружокъ отъ его теперешняго положенія, то упругость пружины заставитъ его къ нему возвратиться; кружокъ приобрѣтши движеніе не остановится сразу, а перейдетъ далѣе теперешняго своего

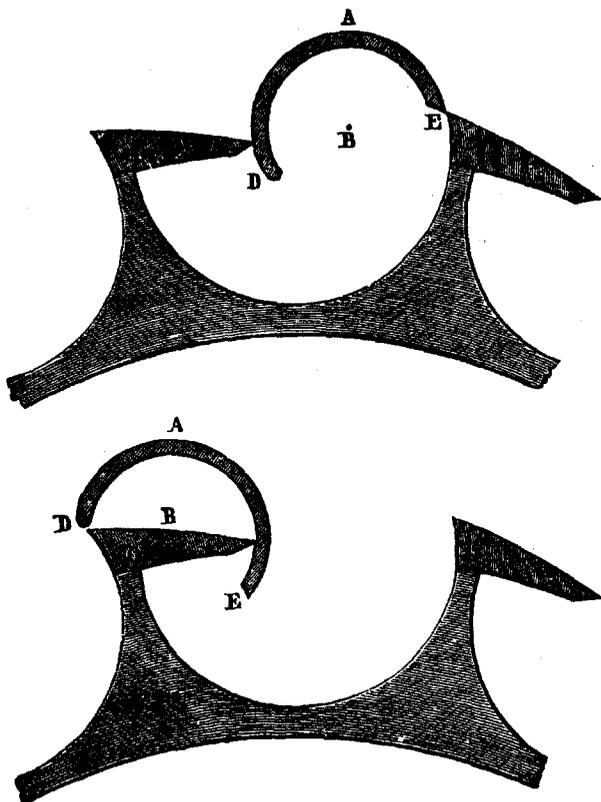


Черт. 48.

положенія, и начнетъ около него колебаться совершенно точно такъ, какъ маятникъ около вертикальнаго положенія. Ось этого кружка, называе-

маго балансомъ, продолжается въ пустой цилиндръ, половина котораго вырѣзана, и который имѣетъ на себѣ еще особую вырѣзку въ *c*. Въ смежности съ этимъ цилиндромъ стоитъ спусковое колесо, которое получаетъ свое движеніе отъ оси съ пружиною посредствомъ зубчатыхъ колесъ и шестерней. Это спусковое колесо имѣетъ на себѣ, какъ видно изъ чертежа, столбики съ идущими въ бокъ зубцами, которыхъ на чертежѣ представлено 12; разстояніе между концомъ одного зубца и началомъ другаго чуть-чуть превосходитъ ширину цилиндра, длина же зубца чуть-чуть меньше этой ширины, такъ-что разстояніе между вершинками двухъ смежныхъ зубцовъ вдвое больше чѣмъ ширина цилиндра; вообразимъ теперь, что вслѣдствіе обращенія баланса цилиндръ его занялъ положеніе, изображенное на чертежѣ 49; зубецъ, которому черезъ посредство зубчатой системы передается побужденіе пружины, упирается во внѣшнюю поверхность цилиндра, и не можетъ подвигаться впередъ, но маятникъ колеблется и скоро его край *D* приходитъ подъ остріе зубца; тогда зубецъ получаетъ возможность подвинуться впередъ, дѣйствительно двигается, причемъ концомъ своимъ ударяетъ нѣсколько въ край *D* цилиндра, и этимъ ударомъ усиливаетъ его движеніе, ослабѣвшее отчасти отъ

трения оси баланса, а отчасти отъ трения зубца по  
внѣшней поверхности цилиндра; но какъ только  
край *D* пришелъ въ такое положеніе, что про-



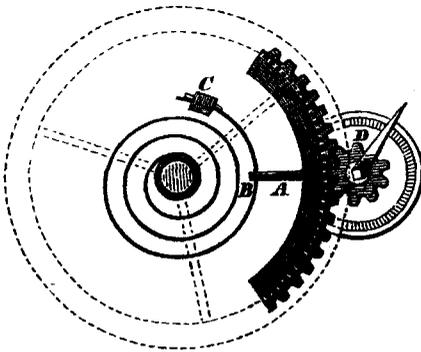
Черт. 49 и 50.

пускаетъ зубецъ, край *E* занялъ уже такое по-  
ложеніе, что зубецъ не можетъ подвинуться впе-  
редъ болѣе какъ на ширину цилиндра; онъ тотчасъ  
же упрется во внутреннюю его стѣнку (черт. 50),  
и остановится до-тѣхъ-поръ, пока отъ обратнаго

колебанія маятника край *E* не подойдетъ къ острию зубца, тогда острие это, скользя по наклоненному впередъ краю *E* полуцилиндра, опять сообщитъ ему толчокъ и все колесо опять повернется, но опять каждый зубецъ пройдетъ впередъ дугу равную ширинѣ цилиндра, ибо какъ только край *E* пришелъ въ такое положеніе, что пропускаетъ мимо себя зубецъ, находящійся теперь въ серединѣ цилиндра, то уже другой край *D* станетъ въ такое положеніе, что онъ не пропуститъ слѣдующаго зубца, и остановитъ его; т.-е. при каждомъ колебаніи маятника или баланса, спусковое колесо передвигается впередъ на длину равную ширинѣ цилиндра, но этихъ ширинъ цилиндра въ окружности колеса находится 24; слѣдовательно спусковое колесо сдѣлаетъ одинъ оборотъ, когда балансъ сдѣлаетъ 24 размаха; если упругость волоска такова, что балансъ дѣлаетъ 21600 размаховъ въ часъ, какъ это часто дѣлаютъ для карманныхъ часовъ, то спусковое колесо сдѣлаетъ въ часъ 900 оборотовъ; слѣд. въ секунду повернется на  $\frac{1}{4}$  своего оборота; такимъ образомъ движеніе этого колеса, а вмѣстѣ съ нимъ и движеніе всего прибора будетъ идти совершенно правильно; расчетъ шестерней и зубчатыхъ колесъ нужныхъ для того, чтобы передать надлежащее движеніе минутной и часовой

стрѣлкамъ уже не представитъ особыхъ затрудненій.

Чтобы вывѣрить карманные часы, нужно имѣть возможность измѣнять въ нѣкоторыхъ предѣлахъ упругость пружины или волоска, который приводитъ въ движеніе балансъ или маятникъ. Для этой цѣли волосокъ укрѣпленный однимъ концомъ къ оси баланса, а другимъ къ неподвижному бруску *C* (черт. 51), продѣтъ сквозь выемку *B* небольшого штифтика *A*, которая и не позволяетъ части *BC* принимать участіе въ измѣненіи формы остального волоска. Штифтикъ *A* составляетъ одно цѣлое съ зубчатою дугою могущею вращаться около центра



Черт. 51.

баланса. Дуга эта можетъ быть приводима въ движеніе шестернею, съ которою соединена стрѣлка *D*. Поворачивая руками стрѣлку *D* внизъ, мы приблизимъ выемку *B* къ концу волоска *C*, слѣд. увеличимъ

часть волоска измѣняющую свою форму при колебаніяхъ маятника, а потому закручиваніе, происходящее въ волоскѣ при колебаніяхъ маятника, распредѣлится

на бѳольшую часть волоска, и слѳед. станетъ слабѳе въ каждой его точкѳ, а потому и колебанія маятника начнутъ совершаться медленнѳе. Подвигая стрѳлку въ противоположную сторону, мы напротивъ ускоримъ ходъ часовъ.

---

## ЛЕКЦІЯ VIII.

### ДѢЙСТВІЕ СИЛЪ НА СВОБОДНОЕ ТѢЛО.

Назначеніе машины, сказали мы на предыдущихъ лекціяхъ, состоитъ въ томъ, чтобы определеннымъ образомъ измѣнить, преобразовать дѣйствіе силы, которую мы назначаемъ для какого-нибудь промышленнаго производства. На нѣкоторыхъ частныхъ примѣрахъ мы показали приемы, употребляемые въ практикѣ для этого преобразованія, и считаемъ приведенные примѣры совершенно достаточными для разъясненія той общей идеи о машинѣ, которую сообщили на первой еще лекціи. Потому теперь мы перейдемъ ко второй и послѣдней, болѣе теоретической части нашего курса. Въ ней постараемся вывести одинъ весьма общій, основной законъ механики, съ помощію ко-

тораго можно безъ затрудненія обсудить, какъ полезное дѣйствіе производимое машинами, такъ и движеніе ими совершаемое. Этотъ законъ принадлежитъ къ числу точныхъ механическихъ положеній. Потому, чтобы его вывести, мы должны напередъ постараться придать научную точность и опредѣленность тѣмъ основнымъ механическимъ понятіямъ, которыя входятъ въ его выраженіе.

Если мы видимъ, что тѣло находящееся первоначально въ покоѣ, среди извѣстныхъ физическихъ условій, выходитъ изъ этаго состоянія, и начинаетъ двигаться по нѣкоторому направленію, то мы выражаемъ этотъ фактъ, это явленіе, говоря, что на тѣло по направленію движенія дѣйствуетъ нѣкоторая сила. Иногда говорятъ, что слова эти заключаютъ въ себѣ объясненіе явленія, что сила есть причина начинающагося движенія; но замѣтимъ, что здѣсь было бы нѣкоторое объясненіе, еслибы мы о силѣ знали еще что-нибудь кромѣ того, что она производитъ извѣстное движеніе; но какъ о силѣ мы болѣе ничего не знаемъ, то все объясненіе приводится къ слѣдующему,— насъ спрашиваютъ: «Знаете ли вы отчего происходитъ движеніе такого-то тѣла?» Мы отвѣчаемъ: «да, знаемъ; оно происходитъ отъ дѣйствія силы.»—«Но что же такое сила?»—«Тѣ, что производитъ движеніе». Этотъ отвѣтъ

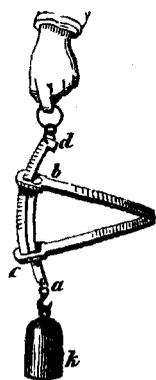
очевидно заключаетъ въ себѣ кругъ, изъ котораго нѣтъ выхода; а потому мы и предпочли сказать, что словами: «на тѣло дѣйствуетъ нѣкоторая сила», мы только выражаемъ тотъ фактъ, что движеніе тѣла начинается, но нисколько не объясняемъ его.

Такъ мы замѣчаемъ, что всѣ тѣла находящіяся на поверхности земли падаютъ къ ней, если только ихъ не удерживаетъ какая-либо преграда. Это мы выражаемъ словами: есть сила, побуждающая каждое тѣло падать на землю; эту силу мы и называемъ тяжестью; далѣе мы замѣчаемъ, что если станемъ рукою удерживать отъ паденія различныя тѣла, то будемъ испытывать при этомъ разныя ощущенія; мы замѣтимъ, что намъ тѣмъ труднѣе дѣйствительно удержать тѣло, чѣмъ больше его вѣсъ; это обстоятельство мы выражаемъ говоря, что вѣсъ тѣла измѣряетъ силу побуждающую тѣло къ паденію. (Собственно говоря, вѣсъ тѣлъ можетъ быть принятъ за мѣру того напряженія, той трудности, которую мы испытываемъ удерживая различныя тѣла отъ паденія). Можетъ при этомъ родиться вопросъ, къ чему же мы вводимъ это новое выраженіе того же факта, который прежде выраженъ былъ очень просто словами заимствованными изъ обыкновеннаго нашего языка. Отвѣтъ въ этомъ случаѣ незатруднителенъ; говоря, что

вѣсь тѣла *измѣряетъ* силу побуждающую его къ паденію, мы вводимъ точное математическое понятіе, которое можетъ составить одинъ изъ элементовъ точнаго закона, между-тѣмъ какъ прежнее выраженіе того же факта не представляло этого преимущества.

Но тѣла начинаютъ двигаться нетолько тогда, когда изъ-подъ нихъ вынимается опора; они выходятъ изъ покоя и при другихъ физическихъ условіяхъ; нельзя ли измѣрить силу, которая при этомъ дѣйствуетъ? Разумѣется всего проще будетъ сравнить ее съ вѣсомъ какого-нибудь тѣла; для этого вообразимъ, что дѣйствіемъ какой ни есть силы тѣло побуждается къ движенію такъ, что подвинется, если его движенію не будетъ поставлено никакого препятствія; чтобы измѣрить силу здѣсь дѣйствующую, удержимъ тѣло отъ движенія рукою. Если при этомъ мы испытаемъ то же ощущеніе, какъ и тогда, когда удерживали отъ паденія тѣло вѣсящее 8 фунтовъ, то скажемъ, что сила которая дѣйствовала въ этомъ случаѣ будетъ 8 фунтовъ; но всякій безъ труда видитъ, что нужно быть очень тонкимъ знатокомъ своихъ ощущеній для того, чтобы такимъ образомъ измѣрять силы; кто поручится, что онъ въ ту минуту какъ удерживаетъ рукою отъ движенія тѣло, на которое

дѣйствуетъ измѣряемая сила, находится въ тѣхъ же обстоятельствахъ, какъ и тогда, когда онъ удерживалъ отъ паденія тѣло въсящее 8 фунтовъ? Ясно, что напряженіе нашихъ мускуловъ неспособно дать удовлетворительно точную мѣру усилій; для этого нужно употребить другое средство; всего проще для нашей цѣли взять тѣло, побуждаемое къ движенію измѣряемою силою, и поставить его движенію преграду не рукою, а какимъ-нибудь другимъ тѣломъ, которое, останавливая движеніе тѣла, — вслѣдствіе

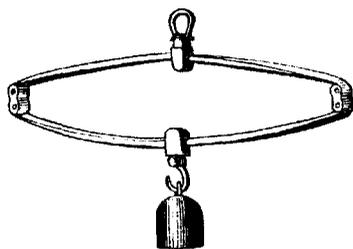


того самаго довольно значительно измѣняетъ свою форму; тогда наблюдая эти измѣненія, мы и можемъ по нимъ заключать о величинѣ измѣряемыхъ силъ; такое свойство представляютъ намъ пружины и вообще упругія тѣла; чтобы воспользоваться ими для измѣренія силъ, возьмемъ стальную пластину согнутую по срединѣ, какъ представлено на чертежѣ,

Черт. 52. и укрѣпимъ къ концу нижней части железную дугу, которая бы свободно проходила въ отверстіе верхней части, затѣмъ кольцо соединенное съ дугой, укрѣпимъ къ какому-нибудь неподвижному предмету (или будемъ удерживать рукою), а къ крючку верхней дуги будемъ привѣшивать послѣдовательно гири въ одинъ, два, три,

четыре и такъ далѣ фунта, и замѣтимъ произведенные этими гирями изгибы; если затѣмъ мы на тотъ же крючокъ заставимъ дѣйствовать измѣряемое усиліе и найдемъ, что изгибъ имъ производимый будетъ тотъ же, который произведенъ гирею въ 6 фунтовъ, то заключимъ, что это усиліе будетъ то же, которое побуждаетъ къ паденію тѣло имѣющее 6 фунтовъ вѣсу, а потому мы и будемъ говорить, что это усиліе составляетъ 6 фунтовъ. Приборы подобнаго устройства, употребляемые для измѣренія силъ, называются динамометрами, что въ русскомъ переводѣ будетъ значить силомѣръ.

Эти динамометры бываютъ очень различнаго устройства; составъ и дѣйствіе ихъ понятны изъ



Черт. 53 и 54.

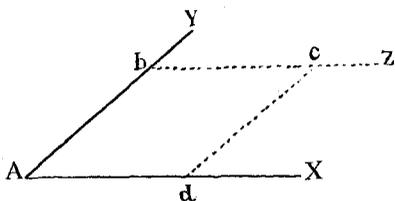
двухъ прилагаемыхъ чертежей. Первый изъ нихъ представляетъ такъ называемый пружинный безмѣнъ со спиральной пружиной, очень часто употребляемый въ общестіи; второй состоитъ изъ двухъ

стальныхъ полосъ, соединенныхъ концами.

Изъ предъидущаго видно, что каждую силу можно сравнивать съ вѣсомъ и выражать посредствомъ него; мы постоянно будемъ пользоваться этимъ сравненіемъ во всѣхъ слѣдующихъ бесѣдахъ, и потому сочли необходимымъ упомянуть здѣсь объ этомъ предметѣ; теперь мы перейдемъ къ рѣшенію другаго вопроса, также для насъ весьма важнаго и существеннаго, именно постараемся показать, какое дѣйствіе оказываютъ силы на тѣла въ простѣйшемъ случаѣ, когда дѣйствію ихъ не представляется никакихъ сопротивленій. Но прежде чѣмъ начинать изложеніе результатовъ, до которыхъ дошла наука въ этомъ отношеніи, условимся въ точномъ смыслѣ одного выраженія, которое намъ значительно поможетъ при дальнѣйшемъ изложеніи, ибо чрезвычайно сократитъ рѣчь и тѣмъ самымъ сдѣлаетъ ее яснѣе.

Нерѣдко конечно каждому приходилось и слышать и употреблять выраженіе: тѣло имѣетъ сразу два, три, четыре и т. д. движеній. Кто внимательно всматривался въ буквальный смыслъ этихъ словъ, тотъ былъ безъ сомнѣнія пораженъ явною нелѣпостью, которую онѣ заключаютъ; на-самомъ-дѣлѣ, если одно и то же тѣло имѣетъ два движенія сразу, если напр. оно двигаясь сразу по  $AX$  и по  $AU$  проходитъ по первой линіи въ двѣ ми-

нуты путь  $Ad$  и по второму путь  $Ab$ , то при-



Черт. 55.

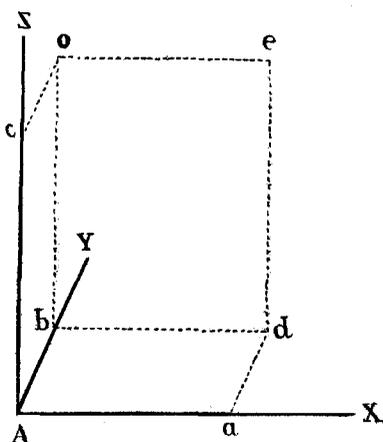
нимая эти слова въ буквальномъ смыслѣ, должно принять, что одно и то же тѣло сразу находится и въ точкѣ  $d$  и въ точкѣ  $b$ ,

что совершенно невозможно; но это выраженіе заключаетъ въ себѣ смыслъ условный. Оно означаетъ, что движеніе тѣла можно себѣ представить такимъ образомъ, какъ-будто оно идучи по неподвижной линіи  $AX$ , проходить въ двѣ минуты путь  $Ad$ , какъ-будто затѣмъ эти же, уже истекшія, 2 минуты возвращаются снова и линія  $AX$  вмѣстѣ съ тѣломъ, уже дошедшимъ до  $d$ , сохраняя свое направленіе, перемѣщается такъ, что ея конецъ проходитъ въ эти двѣ минуты по  $AY$  путь  $Ab$ ; гдѣ будетъ въ такомъ случаѣ дѣйствительное мѣсто тѣла? Очевидно мы найдемъ его, если отложивъ по  $AY$  путь  $Ab$  пройденный тѣломъ по этому направленію, черезъ конецъ его  $b$  проведемъ прямую  $bZ$  параллельную  $AX$ , и отложимъ на ней часть  $bc=Ad$ ;  $c$  и будетъ дѣйствительное мѣсто тѣла по истеченіи двухъ минутъ. Эта замѣна одного движенія двумя другими воображаемыми весьма часто будетъ чрезвычайно для насъ полезна,

потому-что дѣйствительное движеніе нерѣдко бываетъ довольно сложно, частныя же движенія, на которыя можно разложить дѣйствительное движеніе тѣла, могутъ быть выбраны довольно простыя, а потому разсматривать ихъ будетъ для насъ гораздо удобнѣе, чѣмъ разсматривать дѣйствительное, составленное изъ нихъ движеніе. Эти частныя движенія называются обыкновенно *составляющими* или *слагающими*, дѣйствительное же движеніе тѣла относительно нихъ получаетъ названіе *составнаго*.

Чтобы болѣе пояснить этотъ важный предметъ, приложимъ то же, что мы уже сказали о движеніи составномъ изъ двухъ, къ движенію составному изъ трехъ по  $AX$ , по  $AU$  и  $AZ$ . Положимъ, что тѣло по  $AX$  въ двѣ минуты изъ  $A$  переходитъ въ  $a$ , по  $AU$  въ то же время въ  $b$ , по  $AZ$  — въ  $c$ ; это значить, что движеніи тѣла можно себѣ представить, какъ-будто однѣ и тѣ же двѣ минуты повторяются три раза; втеченіи первыхъ двухъ минутъ тѣло перемѣщается по неподвижной линіи  $AX$  и приходитъ въ  $a$ , вторыя двѣ минуты идутъ на то, что линія  $AX$  съ тѣломъ находящимся уже въ  $a$  перемѣщается сохраняя свое направленіе, причемъ конецъ  $A$  этой линіи переходитъ по  $AU$  — въ  $b$ , такъ-что тѣло въ концѣ этихъ, второй разъ возвратившихся, двухъ минутъ занимаетъ уже мѣ-

сто  $d$  (причемъ  $bd=Aa$ ), наконецъ въ третьи двѣ



Черт. 56.

минуты сама линія  $AU$  вмѣстѣ съ прямою  $AX$  занимающею уже положеніе  $bd$ , и съ тѣломъ, находящимся въ точкѣ  $d$ , перемѣщается по  $AZ$ , такъ-что конецъ  $A$  линіи  $AU$  приходитъ въ  $c$ , — а тѣло переходитъ уже въ точку  $e$ . Очевидно, что мѣсто тѣла по истеченіи извѣстнаго времени опредѣлится концемъ многоугольника, который получимъ, если всѣ движенія въ это время тѣломъ совершенныя, отложимъ одно вслѣдъ за другимъ по ихъ собственнымъ направленіямъ, — и притомъ очевидно, что въ какомъ бы порядкѣ мы ни откладывали эти движенія, мѣсто, которое въ силу ихъ займетъ тѣло, будетъ всегда одно и то же.

Условившись въ этомъ замѣтимъ слѣдующіе весьма важные факты, которые представляетъ намъ опытъ.

Если тѣло, выходя изъ покоя, находится подѣ дѣйствіемъ только своего вѣса, то оно въ первую секунду пройдетъ по вертикальному направленію

путь въ 16 футовъ, во вторую секунду пройдетъ путь 16 футовъ взятые три раза, въ третью секунду 16 футовъ взятые пять разъ, въ четвертую секунду 16 футовъ взятые 7 разъ, и такъ далѣе, такъ-что вообще тѣло въ каждую слѣдующую секунду проходитъ то же пространство, какъ и въ предыдущую съ прибавленіемъ къ нему 32 футовъ или шестнадцати футовъ взятыхъ два раза. Поэтому законъ паденія выражается слѣдующею таблицей:

Секунды считае- мая отъ начала паденія.	Путь проходимый тѣ- ломъ въ каждую изъ этихъ секундъ.
Первая . . . . .	16
Вторая . . . . .	$16 \times 3 = 16 + 32$
Третья . . . . .	$16 \times 5 = 16 \times 3 + 32$
Четвертая . . . . .	$16 \times 7 = 16 \times 5 + 32$
Пятая . . . . .	$16 \times 9 = 16 \times 7 + 32$
	и т. д.

Замѣтимъ этотъ законъ, и посмотримъ сколько проходитъ тѣло падая внизъ по вертикальному направленію въ первую секунду, въ первыя двѣ, въ первыя три, въ первыя четыре и т. д. секунды. Изъ чисель, заключающихся въ предыдущей таблицѣ, не трудно видѣть, что пути, проходимые падающимъ по отвѣсному направленію тѣломъ, будутъ тѣ, кои содержатся въ прилагаемой таблицѣ:

Секунды считаемыя отъ начала паденія.	Пути проходимые тѣломъ.
Первая одна . . . . .	$16=16\times 1\times 1$
Первыя двѣ . . . . .	$16\times 4=16\times 2\times 2$
Первыя три . . . . .	$16\times 9=16\times 3\times 3$
Первыя четыре . . . . .	$16\times 16=16\times 4\times 4$
Первыя пять . . . . .	$16\times 25=16\times 5\times 5$

и т. д.

такъ-что вообще путь, проходимый падающимъ тѣломъ въ данное время, напр. въ 10 секундъ, получимъ, если заключающееся въ немъ число секундъ умножимъ само на себя, и затѣмъ возьмемъ 16 футовъ столько разъ, сколько получимъ единицъ чрезъ вышеупомянутое умноженіе числа секундъ само на себя. Хотимъ ли опредѣлить путь, который бы проходило подъ дѣйствіемъ одного своего вѣса свободно падающее тѣло въ 10 секундъ? Нужно 10 взять 10 разъ, получимъ 100, затѣмъ сто разъ должно взять шестнадцать, получимъ тысячу шестьсотъ, такъ-что свободно падающее тѣло, еслибы воздухъ не представлялъ его движенію сопротивленія, опустилось бы въ 10 секундъ на 1600 футовъ.

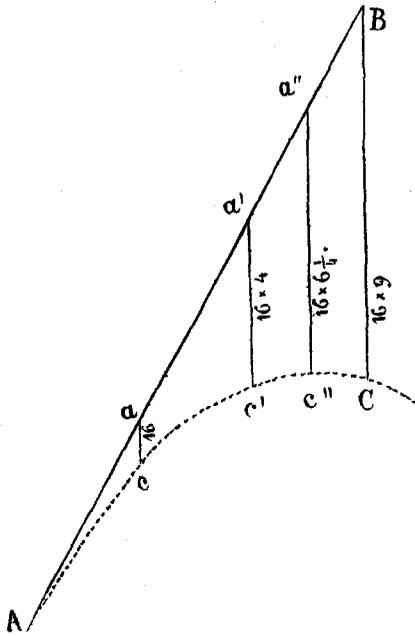
Вообразимъ теперь, что тѣло мы бросили прямо книзу съ такимъ напряженіемъ мускуловъ, что тѣло въ первую секунду своего паденія проходитъ

уже не 16 какъ прежде, а напимѣрь 116 футовъ. Если будемъ замѣчать движеніе такого тѣла, то найдемъ слѣдующее.

Мы увидимъ, что тѣло падаетъ быстрѣе, чѣмъ когда оно падало свободно, и чтобы получить путь, который оно каждую секунду проходитъ, нужно прибавлять по 100 футовъ къ пути, который оно проходитъ, когда падаетъ безъ предварительнаго толчка; слѣдовательно тѣло въ этомъ случаѣ будетъ опускаться такъ, какъ-будто въ немъ сразу находятся два движенія, одно, вслѣдствіе котораго оно опускается каждую секунду на 100 футовъ, и другое совершенно одинаковое съ тѣмъ, которое тѣло имѣло бы, еслибы оно было не брошено, а выведено дѣйствіемъ своего вѣса изъ покоя.

Бросимъ теперь тѣло съ тѣмъ же напряженіемъ мускуловъ наклонно къ горизонту, напр. по  $AB$  (черт. 57), оно будетъ двигаться такъ, что его мѣсто  $c$  по истеченіи одной секунды получится, если по  $AB$  отложимъ  $Aa$  равное 100 футамъ, да отъ конца этой линіи отложимъ по отвѣсу  $ac$  равное 16 футамъ, т. е. величину на которую въ одну секунду опустилось бы тѣло при свободномъ паденіи; мѣсто  $c'$  тѣла по истеченіи 2 секундъ получимъ, если отложимъ по первоначальному направленію  $AB$  линію  $Aa'$  въ 200 футовъ, да отъ конца  $a'$

положимъ по отвѣсу  $a'c' = 16 \times 4$ , т. е. путь кото-  
рый бы прошло тѣло въ 2 секунды, еслибы па-



Черт. 57.

дало свободно;  
точно также,  
чтобы найти мѣ-  
сто  $C$  тѣла по  
истеченіи трехъ  
секундъ, нужно  
отложить по  
первоначально-  
му направленію  
 $AB = 300$  фу-  
товъ, да отъ  
конца  $A$  прове-  
денной линіи от-  
ложить по от-

вѣсу  $BC = 16 \times 9$ , т. е. путь, который бы прошло  
тѣло, еслибы падало прямо не бывъ брошено  
подъ угломъ къ горизонту; т. обр. можемъ опредѣ-  
лить сколько угодно различныхъ мѣсть тѣла; хо-  
тимъ ли напримѣръ найти мѣсто  $c''$ , которое за-  
нимаетъ тѣло по истеченіи  $2\frac{1}{2}$  секундъ? Отложимъ  
по первоначальному направленію  $Aa' = 250$  фу-  
товъ, и отъ конца этой прямой по отвѣсу прове-  
демъ прямую линію  $a'c''$ , равную тому пространству,

которое проходится въ  $2\frac{1}{2}$  \* секунды тѣломъ, пущеннымъ падать, а не брошеннымъ и т. д. Если опредѣлимъ много послѣдовательныхъ мѣстъ тѣла, то увидимъ, что оно описываетъ своимъ движеніемъ нѣкоторую кривую линію, называемую параболою; изученіе этой кривой весьма важно и весьма интересно; она имѣетъ огромныя приложенія, и хотя очень бы было просто вывести здѣсь нѣкоторыя ея свойства, но мы не имѣемъ для того достаточно времени; для насъ важно то, что и здѣсь какъ прежде брошенное тѣло летитъ точно такъ, какъ-будто въ немъ совокупно существуютъ два движенія; одно, въ силу котораго оно идетъ по первоначальному направленію, и каждую секунду проходитъ постоянно 100 футовъ, а другое то же самое, какое бы имѣло тѣло, еслибы сила застала его и начала на него дѣйствовать не тогда, когда оно движется, а когда оно покоится. Вотъ законъ, который мы замѣчаемъ въ движеніи тѣлъ, когда на нихъ дѣйствуетъ ихъ вѣсъ. Законъ этотъ достоинъ полнаго вниманія; замѣтимъ, что на тѣло при его движеніи дѣйствуетъ только его вѣсъ, ибо

---

\*  $2\frac{1}{2}$  взятые  $2\frac{1}{2}$  раза даютъ  $6\frac{1}{4}$ ; а 16 взятые  $6\frac{1}{4}$  разъ даютъ 100; такъ-что для нахождения мѣста нашего тѣла по истеченіи  $2\frac{1}{2}$  секундъ, нужно отложить по направленію по которому оно брошено  $Aa''=250$  футовъ, да отъ конца этой линіи внизъ  $a''c''=100$  футовъ.

усиліе, сообщившее ему первоначальное движеніе, уже перестало дѣйствовать (ядро вылетѣвшее изъ канала орудія уже не находится подъ дѣйствиємъ пороховыхъ газовъ); между-тѣмъ въ тѣлѣ это первоначальное движеніе не теряется; тѣло имѣетъ сразу и это первоначальное движеніе и то, которое сообщилъ бы тѣлу вѣсъ, еслибы *его дѣйствіемъ* тѣло было выведено изъ покоя. Тѣло сразу движется и по тому направленію, по которому брошено, пробѣгая по немъ каждую секунду тѣ же 100 футовъ, которые проходитъ въ первую секунду, и движется внизъ по отвѣсной линіи точно такъ же, какъ и тогда, когда въ немъ первоначальнаго движенія вовсе нѣтъ. Слѣдовательно движеніе тѣла происходитъ точно такъ, какъ-будто оно само сохраняетъ одинъ разъ полученное движеніе, вѣсъ же тѣла къ этому движенію прибавляетъ то самое, которое онъ сообщилъ бы тѣлу, еслибы первоначальнаго движенія вовсе не было; то же самое мы замѣчаемъ и при дѣйстви на тѣла всѣхъ другихъ силъ; если тѣло, имѣя уже первоначальное движеніе, подвергается дѣйствию силы, то получаетъ движеніе, которое можно разсматривать, какъ составленное изъ двухъ: одного совершенно одинаковаго съ первоначальнымъ, и другаго, которое

получило бы тѣло подѣ дѣйствиемъ той же силы, еслибы оно было выведено изъ покоя.

Всѣ безъ исключенія движенія, которыя доселѣ мы наблюдали въ природѣ, подтверждаютъ этотъ законъ (гдѣ являются видимыя исключенія, тамъ они тотчасъ объясняются дѣйствиемъ особыхъ силъ, которыхъ мы при первомъ разборѣ явленія не приняли въ соображеніе); а слѣдовательно мы можемъ принять его за общій законъ природы. Разсмотримъ его нѣсколько подробнѣе. Намъ кажется всего проще, всего естественнѣе допустить, что сила должна производить на тѣло, всегда одно и то же дѣйствіе; должна въ немъ возбуждать всегда одно и то же движеніе, въ какомъ бы состояніи ни было тѣло, на которое она дѣйствуетъ. Поэтому въ разсматриваемомъ опытѣ намъ кажется всего проще принять, что дѣйствиемъ внѣшней силы, дѣйствиемъ вѣса производится лишь та часть движенія, которая одинакова съ движеніемъ падающаго тѣла, когда оно выходитъ изъ покоя. Чему же мы должны приписать другую часть дѣйствительнаго движенія, совершаемаго тѣломъ? Если внѣшняя сила заставляетъ тѣло пробѣгать только по вертикальному направленію соотвѣтственно въ 1'', — 16 фут., въ 2'', —  $16 \times 4$ , въ 3'', —  $16 \times 9$  и т. д., то должна быть внутри тѣла достаточная причина, вслѣдствіе

которой къ этому движенію присоединяется еще движеніе тѣла каждую секунду на 100 футовъ по первоначальному направленію. Поэтому принявши, что внѣшняя сила всегда возбуждаетъ въ тѣлѣ одно и то же движеніе, каково бы ни было состояніе тѣла, мы должны также принять, какъ слѣдствіе опыта, что тѣло само по себѣ сохраняетъ движеніе по первоначальному направленію и съ первоначальною скоростію, — слѣд., бывъ предоставлено само себѣ, будетъ двигаться вѣчно по одному и тому же направленію, и будетъ пробѣгать каждую секунду одно и то же пространство, напримѣръ 100 фут., какъ въ предъидущемъ примѣрѣ.

Это послѣднее положеніе входящее въ такъ-называемый законъ инерціи, который мы сегодня же дадимъ вполне, будетъ совершенно достовѣрно, если только первое предположеніе о независимости дѣйствія силы отъ состоянія тѣла будетъ справедливо. Но справедливо ли оно? Здѣсь мы не имѣемъ ни возможности, ни нужды пускаться въ отдаленныя соображенія, чтобы подтвердить это положеніе, и потому ограничимся лишь однимъ слѣдующимъ замѣчаніемъ: допустимъ, что начало независимости дѣйствія силы отъ состоянія тѣла несправедливо; тогда и законъ инерціи будетъ несправедливъ. Но слѣдствія, которыя

мы выведемъ чрезъ соединеніе этихъ двухъ законовъ, будутъ совершенно справедливы: ибо оба эти закона, взятые вмѣстѣ, будутъ вполне выражать явленіе, фактъ, достовѣрность котораго подтверждается опытомъ. Что намъ за дѣло въ приложеніяхъ до справедливости отдѣльныхъ гипотезъ, если мы эти гипотезы будемъ употреблять не иначе какъ вмѣстѣ, и убѣждены, что чрезъ ихъ соединеніе получимъ истинные, дѣйствительные результаты? Положимъ, я знаю достовѣрно, что у меня всего есть 2 тысячи рублей денегъ, и они лежатъ въ двухъ ящикахъ; положимъ, что я сосчиталъ деньги въ одномъ изъ этихъ ящиковъ и нашель, что тамъ 1 тысяча рублей; изъ этого я заключаю, что въ другомъ ящикѣ будетъ тоже тысяча; если я ошибся въ счетѣ денегъ перваго ящика на 100 рублей, если тамъ находится только 900 рублей, то мое заключеніе относительно денегъ втораго ящика будетъ тоже ошибочно; тамъ будетъ не 1000, а 1100 рублей; но если я эти деньги затѣмъ сыпаю вмѣстѣ и употребляю нераздѣльно, то двѣ ошибки, которыя я сдѣлалъ, не будутъ имѣть никакого вліянія на мои остальные расчеты. То же самое будетъ и въ нашемъ случаѣ; каждая изъ двухъ сдѣланныхъ гипотезъ можетъ быть невѣрна, но какъ онѣ вмѣстѣ взятыя даютъ явленіе,

въ достовѣрности котораго я убѣжденъ, то и результаты мною получаемые чрезъ соединеніе этихъ невѣрныхъ гипотезъ будутъ справедливы, а въ приложеніяхъ намъ больше ничего и не нужно. Оба положенія, о которыхъ мы здѣсь разсуждали, выражаются обыкновенно короче, именно, говорятъ:

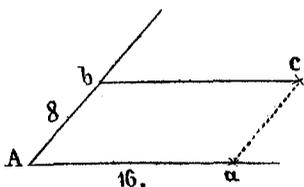
1) Тѣло предоставленное самому себѣ, сохраняетъ свое состояніе.

2) Сила производитъ на тѣло одно и то же дѣйствіе, каково бы ни было состояніе тѣла.

Первое положеніе именуютъ началомъ *инерціи* или *косности* или *самонедѣйственности* матеріи, причемъ подъ *инерціею* разумѣется приписываемое матеріи въ этомъ положеніи свойство, въ силу котораго она не можетъ измѣнять сама по себѣ своего состоянія. Второе положеніе называютъ обыкновенно началомъ независимости дѣйствія силы отъ состоянія тѣла.

Мы разсмотрѣли движеніе, которое произойдетъ въ тѣлѣ, когда на него дѣйствуетъ одна только сила; разсмотримъ, что сдѣлается съ тѣломъ, когда на него нѣсколько силъ дѣйствуютъ сразу; опытъ указываетъ въ этомъ отношеніи законъ совершенно подобный тому, который мы вывели для случая, когда сила дѣйствуетъ на движущееся тѣло; именно, если тѣло движется подъ вліяніемъ

двухъ силъ, и положимъ, для бѣльшей простоты, выходитьъ подъ дѣйствиємъ этихъ двухъ силъ изъ покоя, то, чтобы найти его мѣсто по истеченіи одной секунды, нужно отложить сперва по направленію одной силы путь, который бы прошло тѣло въ одну секунду, еслибы недѣйствовала другая сила; затѣмъ отъ конца проведенной т.-об. линіи отложить путь, который бы прошло тѣло въ 1'', еслибы на него дѣйствовала только вторая сила; конецъ этой послѣдней прямой и будетъ искомое мѣсто тѣла; такъ напримѣръ: еслибы подъ вліяніемъ одной силы тѣло проходило въ первую секунду 8, а подъ вліяніемъ другой 16 футовъ, то дѣйствительное мѣсто  $c$  тѣла по истеченіи одной секунды получимъ, если отложивъ по направленію первой силы  $Ab = 8$  фут., черезъ ея конецъ  $b$  проведемъ прямую  $bc$  въ 16 фут. по на-



Черт. 58.

правленію второй силы; точно такимъ же образомъ найдемъ мѣсто тѣла по истеченіи второй, третьей, четвертой, и т. д. секундъ.

Еслибы двѣ эти силы дѣйствовали на тѣло по одному направленію, то тѣло прошло бы по об-

щему ихъ направленію въ первую секунду 24 фута; еслибы силы дѣйствовали по направленіямъ прямо-противоположнымъ, то тѣло прошло бы по направленію первой бѣльшей силы путь въ 8 футовъ. Если прямопротивоположныя силы таковы, что подѣ вліяніемъ первой тѣло проходитъ въ каждое время точно тотъ же путь, какъ и подѣ вліяніемъ второй силы, то очевидно, тѣло останется въ покоѣ, — такъ-что тѣло можетъ находиться въ покоѣ не только тогда, когда на него не дѣйствуютъ никакія силы, но и въ томъ случаѣ, когда на него дѣйствуютъ двѣ силы, заставляющія его одинаково двигаться въ противоположныя стороны; тѣло, какъ мы сказали, при этомъ будетъ находиться въ покоѣ, и о силахъ говорятъ, что онѣ другъ друга взаимно уничтожаютъ или уравниваютъ. Если мы вспомнимъ, какъ мы измѣряли силы, то увидимъ, что такія прямопротивоположныя уравнивающія себя силы будутъ равны.

Разсмотримъ нѣсколько подробнѣе частный случай, когда на тѣло дѣйствуютъ силы по одному направленію, и положимъ, что эти силы равны между собою; допустимъ, кромѣ-того, что онѣ таковы, что подѣ дѣйствіемъ каждой изъ нихъ тѣло въ полторы секунды проходитъ по 5 фут.; тогда при совокупномъ дѣйствіи двухъ такихъ силъ тѣло

въ первыя  $1\frac{1}{2}$  секунды пройдетъ 2 раза 5 или 10 футовъ; еслибы дѣйствовали три точно такія же силы, то тѣло въ  $1\frac{1}{2}$  секунды при ихъ совокупномъ дѣйствиіи прошло бы 3 раза 5 или 15 футовъ; еслибы дѣйствовали 40, 50 такихъ силъ, то тѣло втеченіи взятыхъ нами  $1\frac{1}{2}$  секундъ прошло бы пять футовъ, взятые 40 или 50 разъ, т.-е. прошло бы 200 или 250 футовъ, и т. д.; такъ-что вообще если на тѣло дѣйствуютъ по одному направленію нѣсколько равныхъ силъ, то тѣло подъ ихъ совокупнымъ дѣйствиємъ проходитъ путь во столько разъ бѣльшій противъ того, который оно проходитъ подъ дѣйствиємъ одной изъ силъ, сколько всѣхъ силъ дѣйствуетъ на тѣло.

Замѣтимъ это, и сообразимъ, что если тѣло побуждается къ движенію 40 силами равными фунту, то ясно, что оно находится въ такихъ же условіяхъ, какъ еслибы на него дѣйствовала одна сила въ 40 фунтовъ, и потому путь, который пройдетъ тѣло въ нѣкоторое время подъ вліяніємъ 40 фунтовой силы, будетъ въ 40 разъ больше, чѣмъ подъ вліяніємъ однофунтовой силы. Это начало обыкновенно выражаютъ такъ: *дѣйствіе силы пропорціонально самой силѣ*; здѣсь подъ дѣйствиємъ силы разумѣется тотъ путь, который вслѣдствіе именно дѣйствиія силы проходитъ тѣло въ извѣст-

ное время; и слѣдовательно, въ случаѣ если сила дѣйствуетъ на тѣло первоначально находившееся въ покоѣ, то подѣ дѣйствіемъ силы будемъ разумѣть дѣйствительный путь, проходимый тѣломъ; если же тѣло и до дѣйствія силы имѣло движеніе, то подѣ дѣйствіемъ силы будемъ разумѣть тотъ прибавочный путь, который сила заставляетъ проходить движущееся тѣло.

Это обстоятельство находится повидимому въ противорѣчій съ тѣмъ замѣчательнымъ фактомъ, который доказанъ былъ Галилеемъ, именно, что тѣла тяжелья и легкія, всѣ, падаютъ съ одной и той же высоты въ одно и то же время; между тѣмъ на тяжелое тѣло дѣйствуетъ бѣльшая сила, чѣмъ на легкое, а потому казалось бы съ перваго взгляда, что тяжелья тѣла должны падать скорѣе, чѣмъ легкія. Но такое заключеніе было бы совершенно ошибочно. На самомъ дѣлѣ въ предъидущихъ нашихъ разсужденіяхъ мы предполагали, что силы въ 40 фунтовъ и въ 1 фунтъ, дѣйствуютъ на одно и то же тѣло, и въ этомъ предположеніи вывели на основаніи опытныхъ данныхъ, что тѣло движась подѣ вліяніемъ однофунтовой силы проходитъ путь въ 40 разъ меньшій чѣмъ подѣ вліяніемъ силы въ 40 фунтовъ; въ Галилесвомъ же опытѣ сила въ 40 фунтовъ

приложена къ другому тѣлу, нежели сила въ одинъ фунтъ, и потому фактъ нами приведенный показываетъ только, что разныя тѣла могутъ подѣ вліяніемъ разныхъ силъ двигаться одинаково; такъ тѣло въ одинъ фунтъ вѣса подѣ вліяніемъ силы въ 1 фунтъ пройдетъ въ минуту пространство равное тому, которое проходится 40 фунтовою гирею, когда она падаетъ, находясь подѣ вліяніемъ своего вѣса, т.-е. силы въ сорокъ фунтовъ. Этотъ фактъ нисколько не противорѣчитъ тѣмъ слѣдствіямъ, которыя изъ опытовъ же мы вывели прежде, а только дополняетъ ихъ; прежде мы брали одно тѣло и рассматривали дѣйствіе оказываемое на него различными силами, а слѣд. и не могли замѣтить разницы, которая оказывается въ дѣйствіи одной и той же силы на разныя тѣла. Рассматривая разныя тѣла, мы находимъ эту разницу; чтожь тутъ удивительнаго? Но нашедши разницу въ извѣстныхъ фактахъ, человекъ стремится объяснить ее себѣ какимъ бы то ни было образомъ. Чтожь за причина, что для сообщенія одного и того же движенія двумъ гирямъ, пудовой и фунтовой, нужно къ первой приложить силу въ 40 разъ бѣльшую, чѣмъ ко второй?

Это явленіе станетъ намъ до извѣстной степени понятнымъ, если мы допустимъ, что въ пудовой

гирьъ заключается въ 40 разъ больше вещества; чѣмъ въ фунтовой, и что каждая частица этого вещества не только бывъ предоставлена сама себѣ сохраняетъ свое состояніе, но и стремится его сохранить, оказывая извѣстное сопротивленіе каждому его измѣненію. Допустивши въ веществѣ это свойство, мы получимъ извѣстное объясненіе какъ того, почему одна и та же сила производитъ разныя измѣненія въ состояніи разныхъ тѣлъ, такъ и того, почему для значительнаго измѣненія въ состояніи тѣла нужна бѣльшая сила, а чтобы произвести малое измѣненіе, достаточно силы весьма небольшой. На самомъ дѣлѣ представимъ себѣ, что каждое тѣло, каждому опредѣленному измѣненію своего состоянія представляетъ извѣстное опредѣленное сопротивленіе, которое будетъ тѣмъ больше, чѣмъ больше масса тѣла и чѣмъ сильнѣе производимая въ его состояніи перемѣна; тогда сила будетъ измѣнять состояніе тѣла именно тѣмъ, что она преодолѣетъ, уничтожитъ это сопротивленіе, вслѣдствіе чего уже и произойдетъ извѣстная, соотвѣтствующая этому уничтоженному сопротивленію перемѣна въ состояніи тѣла; такъ, что вообще какъ бы ни двигалось тѣло, какъ бы ни измѣняла сила его состояніе,—она употребляется на преодолѣніе того сопротивленія, о которомъ мы говорили,

и слѣд. она ему равна и прямопротивоположна. Это сопротивление, которое тѣло оказываетъ каждой перемѣнѣ своего состоянія, называютъ силой инерціи, — такъ, что вообще сила движущая будетъ равна и противоположна силѣ инерціи, которая развивается въ тѣлѣ при измѣненіи его состоянія.

Напомнимъ же тѣ результаты, которые до-сихъ-поръ были получены нами.

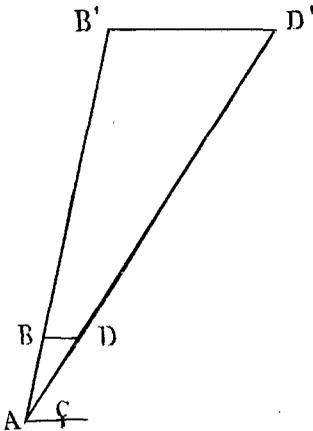
1) Тѣло самому себѣ предоставленное, сохраняетъ состояніе покоя или равномернаго движенія. Это есть такъ-называемый законъ, или *начало инерціи* вещества.

2) Силы дѣйствующія на тѣло, присовокупляютъ къ его движенію новое идущее по извѣстному закону — и этимъ замедляютъ, ускоряютъ движеніе или перемѣняютъ его направленіе. Движеніе, т.-об. присовокупляемое силами къ движенію, которое тѣло сохраняетъ по инерціи, будетъ всегда одно и то же, какъ бы ни двигалось тѣло вслѣдствіе инерціи, тихо или скоро, вправо или влево, внизъ или вверхъ, впередъ или назадъ, все-равно. Этотъ законъ называютъ *началомъ независимости дѣйствія силы отъ состоянія тѣла*.

3) Если нѣсколько силъ дѣйствуютъ на тѣло, то каждая изъ нихъ сообщаетъ тѣлу особое движеніе по своему направленію, которое будетъ тѣмъ

больше, чѣмъ больше самая сила, и тѣло подѣ вліяніемъ многихъ силъ будетъ двигаться точно такъ же, какъ-будто бы каждая изъ этихъ силъ дѣйствовала отдѣльно. Этотъ законъ называютъ *началомъ независимости между совокупными дѣйствіями силъ.*

Изъ него безъ малѣйшаго труда выводится, что если нѣсколько силъ дѣйствуютъ на тѣло, то оно будетъ двигаться точно такъ, какъ-будто на него дѣйствуетъ одна сила, которую получимъ, отложивши всѣ силы, имѣющія на тѣло вліяніе, одну вслѣдъ за другою по ихъ направленіямъ, и соединивши конецъ полученнаго чертежа съ его началомъ. Положимъ напр., что на тѣло дѣйствуютъ



Черт. 59.

двѣ силы  $AB$  и  $AC$ , одна въ 8 фунтовъ, а другая въ 5; тѣло подѣ ихъ вліяніемъ будетъ двигаться точно такъ, какъ еслибы на него дѣйствовала одна сила  $AD$ , которую получимъ, если условимся изображать на

чертежѣ силу въ одинъ фунтъ однимъ дюймоу,

и отложимъ сперва  $AB = 8$  дюймамъ , потомъ проведемъ  $BD$  по тому же направленію , по которому идетъ  $AC$ , и отложимъ  $BD = 5$  дюймамъ, а въ заключеніе всего соединимъ  $A$  съ  $D$ ; если  $AD$  будетъ напр. 11 дюймовъ, то тѣло подѣ совокупнымъ дѣйствіемъ двухъ силъ  $AB$  и  $AC$ , будетъ двигаться точно такъ же, какъ еслибы на него по направленію  $AD$  дѣйствовала одна сила въ 11 фунтовъ. На самомъ дѣлѣ возьмемъ такое тѣло, которое сила въ одинъ фунтъ передвигаетъ втеченіи первой секунды на одинъ дюймъ; изъ предъидущаго легко видѣть, что оно вслѣдствіе дѣйствія силъ  $AB$  и  $AC$  по истеченіи 1'' будетъ въ точкѣ  $D$ , слѣдовательно тамъ же гдѣ бы оно было, еслибы на него дѣйствовала одна сила по направленію  $AD$ , заставляющая его пройти въ секунду 11 дюймовъ, то-есть сила въ 11 фунтовъ; точно такъ же нашли бы, что тѣло по истеченіи 2'' будетъ въ такой точкѣ  $D'$ , въ которую оно пришло бы находясь подѣ дѣйствіемъ одной силы въ 11 фунтовъ, направленной по  $AD$ ; на самомъ дѣлѣ мѣсто  $D'$  тѣла по истеченіи 2'' найдемъ отложивъ по  $AB$  часть  $AB' = AB \times 4$  и  $B'D' = BD \times 4 = AC \times 4$ ; по точка  $D'$ , такимъ-образомъ получаемая, будетъ лежать на продолженіи  $AD$  и притомъ  $AD' = AD \times 4$ , т.-е. тѣло по истеченіи 2'' будетъ также въ той

точкѣ, въ которую пришло бы подѣ дѣйствіемъ одной силы въ 11 фунтовъ идущей по  $AD$ .

Поэтому вообще двѣ силы  $AB$  и  $AC$  могутъ быть замѣнены одною силою  $AD$ , имѣя *равнодѣйствующую*. Сила эта получится; если отложивъ одну силу чрезъ конецъ ея проведемъ прямую параллельную и равную другой силѣ, и конецъ чертежа соединимъ съ его началомъ. То же правило будетъ справедливо и для сколькихъ угодно силъ. Чтобы отыскать ихъ равнодѣйствующую, нужно отложить данныя силы одну вслѣдъ за другою по ихъ направлениямъ, и затѣмъ замкнуть многоугольникъ, который такимъ-образомъ получится. Замыкающая сторона и представитъ собою величину и направление силы равнодѣйствующей даннымъ, т.-е. той силы, которая замѣняетъ собою всѣ данныя, или производитъ то же движеніе, какъ и эти данныя силы.

Если при этомъ случится, что многоугольникъ замыкается самъ собою, то очевидно равнодѣйствующая исчезнетъ, и слѣд. силы не оказываютъ на тѣло никакого дѣйствія, т.-е. при этомъ условіи силы будутъ находиться въ равновѣсіи.

Такимъ-образомъ мы приобрѣли общія понятія о томъ, что производятъ силы, когда онѣ дѣйствуютъ на тѣла совершенно свободныя; мы видѣли, что дѣйствіемъ ихъ измѣняется состояніе

тѣль, и притомъ, что онѣ сами дѣйствуя совокупно могутъ измѣнять дѣйствіе одна другой. Общій законъ этого измѣненія состоитъ въ томъ, что каждая изъ силъ, дѣйствуя вмѣстѣ съ другими, прибавляетъ отъ себя къ тѣлу то же самое движеніе, какое бы она ему сообщила, еслибы заставъ его въ покоѣ дѣйствовала на него одна безъ вмѣшательства другихъ силъ.

При дальнѣйшемъ нашемъ изложеніи намъ понадобится еще одно весьма простое и весьма важное понятіе, которое теперь же мы постараемся себѣ разяснить. Это есть понятіе о скорости движенія. Всякій приблизительно знакомъ съ нимъ; говорятъ: я хожу скоро, локомотивъ везетъ по желѣзной дорогѣ скорѣе, чѣмъ лошадь и т. д. Если захотимъ эту послѣднюю фразу выразить иначе, то можемъ сказать: локомотивъ въ то же время какъ лошадь пробѣгаетъ большее пространство, и если локомотивъ въ часъ идетъ 40 верстъ, а лошадь 8, то говорятъ, что локомотивъ идетъ въ 5 разъ скорѣе лошади, такъ-что для сравненія скоростей разныхъ тѣлъ сравниваютъ пространства, ими пробѣгаемыя въ одно и то же время, — слѣдовательно, выбравъ какую-нибудь единицу времени, напр. секунду, мы можемъ измѣрять скорости разныхъ тѣлъ (или одного и того же тѣла, но въ разныя вре-

мена), мѣряя пути пробѣгаемые тѣлами въ секунду, но такимъ-образомъ мы получимъ понятіе только о средней скорости тѣла втеченіи секунды: оно вполне достаточно, если тѣло движется равномерно, т.-е. если оно въ полсекунды проходитъ половину того пути, что въ секунду; въ четверть секунды,—четверть того пути; въ десятую долю секунды одну десятую этого пути и т. д. Но можетъ случиться, что тѣло двигается съ начала секунды медленнѣе, а въ концѣ ея скорѣе или наоборотъ. Тогда предъидущее понятіе о средней скорости въ секунду уже не вполне удовлетворительно. Чтобы получить болѣе точное понятіе о движеніи тѣла, въ этомъ случаѣ нужно вмѣсто секунды взять какую-нибудь мѣньшую единицу, напр. полсекунды и дать величины средней скорости для каждой половины секунды. Если взявши напр. секунду мы найдемъ, что тѣло прошло 16 футовъ, а взявши полсекунды найдемъ, что втеченіи ихъ тѣло прошло 4 фута, то скажемъ, что тѣло въ первыя полсекунды двигалось медленнѣе, чѣмъ во вторыя полсекунды, и притомъ въ три раза медленнѣе; еслибы оно двигалось одинаково скоро, то въ первыя полсекунды прошло бы 8 и во вторыя полсекунды тоже 8 футовъ; между-тѣмъ какъ въ первыя полсекунды оно прошло только 4, и слѣд. во вторыя полсекунды

12 футовъ. Если же бы мы захотѣли сравнить движеніе въ первыя полсекунды съ движеніемъ во всю секунду, то сказали бы, что средняя скорость тѣла въ первыя полсекунды вдвое меньше, чѣмъ для всей секунды; на самомъ дѣлѣ еслибы она была одна и та же, то тѣло въ первыя полсекунды прошло бы 8 футовъ, а оно проходитъ только 4; если же мы взяли бы вторыя полсекунды, то увидѣли бы, что для нихъ средняя скорость въ  $1\frac{1}{2}$  раза больше, чѣмъ для цѣлой секунды; еслибы она была та же, то тѣло во вторыя полсекунды прошло бы 8 футовъ, а оно проходитъ 12. Подобнымъ же образомъ измѣривши пространства, проходимыя тѣломъ въ первую, во вторую, въ третью и четвертую четверти секунды, могли бы сравнить среднія имъ отвѣчающія скорости тѣла съ его среднею скоростью въ секунду, и нашли бы, что для однихъ изъ этихъ четвертей средняя скорость меньше, для другихъ больше, чѣмъ средняя скорость взятая для цѣлой секунды. Чѣмъ меньше будутъ части времени, для которыхъ беремъ среднія скорости, тѣмъ точнѣе будутъ наши понятія о движеніи тѣла; но какъ дойти до точнаго понятія объ его движеніи для всякаго мгновенія? Чтобы рѣшить этотъ вопросъ, положимъ, что мы хотимъ знать скорость, которую имѣютъ тѣла въ

мгновеніе, служащее концомъ первой секунды, и возьмемъ среднюю скорость тѣла для очень малаго времени, оканчивающаго первую секунду; станемъ уменьшать эту часть времени какъ-можно дальше и смотрѣть, нѣтъ ли такой величины, къ которой безпредѣльно и постоянно приближается вычисляемая нами средняя скорость по-мѣрѣ-того, какъ часть времени, которую мы взяли, становится меньше и меньше; если найдемъ такой предѣлъ для средней скорости, то онъ и покажетъ намъ съ совершенною точностью скорость тѣла въ то мгновеніе, которымъ оканчивается первая секунда; то же самое будетъ и для всякаго другаго мгновенія. Какъ получить этотъ предѣлъ, дающій намъ вполнѣ строгое понятіе о движеніи тѣла для каждаго мгновенія? Вопросъ этотъ рѣшается вообще и безъ затрудненія особою частью математическихъ наукъ, извѣстною подъ названіемъ анализа безконечно-малыхъ или дифференціального исчисленія; для насъ это рѣшеніе недоступно, и потому мы можемъ найти величины скорости тѣла для каждаго мгновенія въ немногихъ частныхъ случаяхъ, гдѣ онѣ могутъ быть найдены посредствомъ весьма простыхъ соображеній. Мы выбираемъ для этой цѣли весьма важное для насъ явленіе паденія тѣлъ; положимъ, требуется опредѣлить, какъ велика скорость па-

дающаго тѣла въ концѣ первой, второй, третьей и такъ далѣе секунды отъ начала паденія?

Для этого вспомнимъ, что свободно падающее тѣло въ первую секунду проходитъ 16 футовъ, во вторую 48 или 32 футами больше чѣмъ въ первую, въ третью еще 32 футами больше, или 80, и т. д., въ каждую слѣдующую секунду тѣло проходитъ 32 футами больше, чѣмъ въ предыдущую; значить и средняя его скорость увеличивается каждую новую секунду на 32 фута; то же самое получилось бы, еслибы взять вмѣсто секундъ полсекунды, четверти секунды, восьмыя доли секунды и т. д.; мы увидѣли бы, что средняя скорость тѣла каждыя полсекунды возрастаетъ на 16, каждую  $\frac{1}{4}$  секунды на 8, каждую восьмую долю секунды на 4 фута и т. д. Слѣдовательно, если раздѣлимъ первую секунду напр. на 1000 элементовъ, то средняя скорость, взятая для каждаго изъ этихъ элементовъ, будетъ на одну и ту же величину больше предыдущей. Слѣдовательно средняя скорость для всѣхъ этихъ элементовъ сразу взятая, или средняя скорость всей первой секунды, то-есть 16 фут. будетъ непремѣнно больше, чѣмъ скорость перваго элемента и меньше, чѣмъ скорость послѣдняго, и притомъ ровно на столько меньше послѣдней скорости, на сколько больше первой; но средняя ско-

рость всей секунды или 16 футовъ почти ровно на 16 больше, чѣмъ скорость перваго элемента, (ибо въ первый элементъ тѣло только-что выходитъ изъ покоя, и слѣд. его средняя скорость почти нуль); а потому, средняя скорость первой секунды (16 фут.) тоже на 16 почти фут. больше чѣмъ скорость послѣдняго элемента, слѣд. скорость послѣдняго элемента будетъ почти 32 фута; и притомъ будетъ тѣмъ ближе къ 32 футамъ, чѣмъ меньше самые элементы, ибо тѣмъ ближе къ нулю будетъ скорость перваго элемента, а слѣд. по данному нами опредѣленію скорость падающаго тѣла въ концѣ первой секунды будетъ ровно 32 фута; точно такъ же нашли бы, что она въ концѣ второй секунды будетъ два раза 32, въ концѣ третьей три раза 32 и т. д. Такъ-что дѣйствіемъ вѣса тѣла постоянно каждую секунду къ его скорости прибавляется одна и та же величина, именно 32 фута; въ этомъ смыслѣ вѣсъ тѣла называется постоянною силою: ибо ея дѣйствіе при движеніи тѣла не перемѣняется.

Изъ предъидущаго видно, что скорость, которую приобрѣтаетъ тѣло при паденіи втеченіи первой секунды, вдвое больше средней скорости для этой секунды, или пути въ эту секунду проходящаго, и что въ слѣдующія секунды скорости воз-

растаютъ вмѣстѣ съ временемъ употребляемымъ на паденіе, такъ—что когда время увеличивается вдвое, то и скорость дѣлается вдвое больше.

Тотъ же самый законъ относится и ко всѣмъ другимъ силамъ, которыя подобно вѣсу постоянны; онъ же можетъ быть приблизительно примѣненъ и къ силамъ измѣняющимъ свою величину, если только дѣйствіе ихъ будемъ разсматривать въ весьма малые промежутки времени. Результаты получаемые чрезъ его приложеніе будутъ тѣмъ ближе къ истинѣ, чѣмъ меньше будутъ самые промежутки, на которые разбивается время, такъ—что истинные, къ дѣйствительному движенію относящіеся, результаты будутъ служить предѣломъ тѣхъ, которые получаютъ чрезъ наше вычисленіе. Нахожденіе этого предѣла весьма значительно облегчается съ помощію анализа безконечно—малыхъ, о которомъ мы уже упоминали; здѣсь мы не имѣемъ возможности излагать способы этого анализа, а потому, ограничиваясь вышесказаннымъ, повторимъ въ совокупности главные результаты нами полученные:

1) Тѣло падающее подъ дѣйствіемъ одного своего вѣса, проходитъ въ одну первую, въ двѣ первыя, въ три первыя и т. д. секунды своего паденія пути:

16,  $16 \times 2 \times 2$ ,  $16 \times 3 \times 3$ ,  $16 \times 4 \times 4$ ... футовъ.

2) Подъ дѣйствиємъ всякой другой постоянной силы движеніе слѣдуетъ тому же закону, т.-е. путь проходимый тѣломъ въ двѣ первыя секунды вчетверо больше пути проходимаго въ одну первую секунду; путь проходимый въ три первыя секунды будетъ вдевятиро больше пути первой секунды, и т. д., такъ-что для опредѣленія движенія тѣла при дѣйствии какой угодно постоянной силы, нужно только знать путь, который при ея дѣйствии проходится тѣломъ въ первую секунду.

3) Путь этотъ будетъ во столько разъ больше или меньше 16, во сколько разъ сила, дѣйствующая на тѣло больше или меньше его вѣса, т.-е. силы, подъ дѣйствиємъ которой тѣло падая въ первую секунду проходитъ 16 футовъ.

4) Скорость, которую приобрѣтаетъ тѣло въ концѣ первой, второй, третьей и т. д. секундъ своего паденія будетъ:

32,  $32 \times 2$ ,  $32 \times 3$  и т. д. футовъ.

5) Скорость которую приобрѣтаетъ тѣло подъ дѣйствиємъ всякой другой силы, идетъ по тому же закону, т.-е. въ концѣ второй секунды, скорость будетъ вдвое больше, чѣмъ въ концѣ первой, въ концѣ третьей секунды она будетъ втрое больше,

чѣмъ въ концѣ первой и т. д., такъ-что для опредѣленія скорости тѣла въ концѣ какого угодно времени, достаточно знать его скорость въ концѣ первой секунды.

6) Скорость въ концѣ первой секунды всегда, какъ мы показали вдвое больше чѣмъ пространство въ эту секунду проходимое тѣломъ, слѣд. эта скорость будетъ во столько разъ больше или меньше 32, во сколько разъ сила дѣйствующая на тѣло больше или меньше, чѣмъ его вѣсъ.

Изъ этихъ слѣдствій не трудно видѣть, что  
1) если силу и тѣло, на которое она дѣйствуетъ, оставимъ тѣ же, а время движенія увеличимъ вдвое, то скорость тѣла станетъ вдвое больше, путь же имъ пройденный увеличится вчетверо.

2) Если время движенія и тѣло останутся тѣ же, а сила увеличится вдвое, то путь пройденный тѣломъ и его скорость стануть вдвое больше.

3) Если время движенія и силу оставимъ тѣ же, а вѣсъ тѣла увеличимъ вдвое, то получатся тѣ же результаты, какъ еслибы мы оставивъ то же тѣло уменьшили силу вдвое, то-есть и путь пройденный тѣломъ и его скорость стануть вдвое меньше.

Еслибы мы вмѣсто - того чтобы увеличивать каждый элементъ вдвое, стали увеличивать его

второе, то получили бы тѣ же результаты, только вмѣсто числа *два*, вездѣ пришлось бы поставить число *три*, и слѣдовательно вмѣсто четырехъ или  $2 \times 2$  пришлось бы поставить девять, то-есть  $3 \times 3$  и т. д.

---

## ЛЕКЦІЯ ІХ.

**Работа силы. Зависимость между скоростью тѣла и работами дѣйствующихъ на него силъ.**

Всѣ три понятія о силѣ, проходимомъ подъ ея дѣйствіемъ въ извѣстное время пути, и скорости въ это время приобретаемой тѣломъ, которыя мы разбирали на предъидущей лекціи, постоянно употребляются каждымъ; мы старались въ предъидущемъ только разъяснить ихъ, придать имъ научную опредѣленность и точность, безъ которой невозможно идти вѣрнымъ и яснымъ путемъ къ ихъ приложениямъ. Теперь намъ остается только опредѣлить и объяснить одно понятіе, которое въ обыкновенной жизни не такъ часто встрѣчается, и на которомъ поэтому самому мы остановимся съ большими подробностями. Это есть понятіе о работѣ силы.

Чтобы составить это понятие съ надлежащею точностію и раздѣльностію, и въ то же время сразу показать его важность для машинъ, — разберемъ, какъ можно въ коммерческомъ отношеніи оцѣнить достоинство машины, то-есть пользу, которую она можетъ намъ приносить. Для этого возьмемъ примѣръ. Вообразимъ двѣ машины, изъ которыхъ одна стругаетъ желѣзо, а другая дерево; и допустимъ, что струги обѣихъ машинъ одинаковой ширины, и каждый проходитъ по 20 футовъ въ минуту; очевидно, обѣ машины втеченіи одной минуты обстругиваютъ одинаковую поверхность и дерева, и желѣза; понятно въ то же время, что первая машина лучше второй; за нее можно заплатить дороже, чѣмъ за вторую; но почему? Очевидно потому, что обрабатывать желѣзо труднѣе, чѣмъ обрабатывать дерево, то-есть говоря языкомъ механики, сопротивленіе, представляемое желѣзомъ стругающему рѣзцу больше, чѣмъ сопротивленіе, представляемое деревомъ; если машину приводящую въ движеніе одинъ стругъ для желѣза заставить стругать дерево, и если допустить, что сопротивленіе желѣза въ 8 разъ больше, чѣмъ сопротивленіе дерева, то очевидно, что этою машиною можно привести сразу въ такое же движеніе не одинъ, а 8 струговъ для дерева, и слѣд. съ ея

помощью можно будетъ обстругать въ то же время въ 8 разъ больше дерева, чѣмъ тою машиною, которая была первоначально употреблена для его обстругиванія.

Отсюда видно, что изъ двухъ разсмотрѣнныхъ нами машинъ, первая приноситъ намъ пользу въ 8 разъ большую, чѣмъ вторая, т.-е. польза отъ первой машины во столько разъ больше, чѣмъ польза отъ второй, во сколько разъ преодолеваемое ею сопротивленіе больше, чѣмъ сопротивленіе побѣждаемое второю машиною.

Замѣтимъ это и вообразимъ другія двѣ машины, которыя обѣ стругаютъ дерево, но стругъ первой втрое шире, чѣмъ стругъ второй, и оба струга опять проходятъ въ минуту по 20 фут.; понятно, что первая машина обстругаетъ въ минуту въ три раза больше дерева, чѣмъ вторая, слѣд. будетъ втрое лучше второй, но ясно, что и сопротивленіе, которое преодолевается первою машиною, будетъ втрое больше, чѣмъ сопротивленіе преодолеваемое второю машиною. Такъ-что и здѣсь, какъ въ предыдущемъ примѣрѣ, одна машина будетъ во столько разъ лучше другой, во сколько разъ сопротивленіе ею побѣждаемое больше, чѣмъ сопротивленіе преодолеваемое другою машиною. Возьмите какой угодно другой примѣръ; вы найдете то же

самое; всегда будет оправдано слѣдующее положеніе:

*Если двѣ машины, преодолюющія разныя сопротивленія, ходятъ съ одинаковою скоростью, то пользы приносимыя каждою изъ нихъ будутъ относиться, какъ сопротивленія ими преодолюваемыя.*

Но если машины будутъ ходить не съ одинаковою скоростью, то какъ будутъ относиться между собою тѣ пользы, которыя ими доставляются? Чтобы рѣшить этотъ вопросъ, возьмемъ опять двѣ стругательныя машины; пусть онѣ обѣ стругаютъ дерево, пусть ихъ струги опять имѣютъ одинаковую ширину, но стругъ первой проходитъ 10 футовъ, а стругъ второй 40 футовъ въ минуту; ясно, что вторая обстругаетъ въ то же время, какъ первая, четверо больше дерева; слѣд. польза ею приносимая будетъ больше, чѣмъ польза, которую приноситъ первая машина, и притомъ въ 4 раза, т. е. во столько разъ, во сколько скорость струга второй машины больше, чѣмъ скорость струга первой машины.

Возьмемъ еще примѣръ; пусть двѣ машины приводятъ въ движеніе два равныхъ насоса; пусть въ первомъ поршень дѣлаетъ въ минуту 8 размаховъ, а во второмъ 40; ясно, что съ помощію второй

машины мы можемъ накачать на ту же высоту въ 5 разъ бѣльшее количество воды, чѣмъ съ помощью первой, и слѣд. польза второй машины въ 5 разъ превосходить пользу доставляемую первую.

Въ этихъ двухъ примѣрахъ сопротивленіе представляемое орудію было одинаковое для обѣихъ машинъ; ибо очевидно, въ первомъ примѣрѣ стругъ въ каждое мгновеніе перерѣзывалъ одинаковое число фибръ дерева, а во второмъ — поршень насоса удерживалъ отъ паденія одинъ и тотъ же вѣсъ воды. Посему, если сопротивленія преодолеваемыя машинами одинаковы, то та изъ нихъ приноситъ больше пользы, въ которой скорость орудія больше; притомъ польза приносимая одною машиною ровно во столько разъ больше, чѣмъ польза доставляемая другою, во сколько разъ скорость орудія въ первой больше, чѣмъ скорость орудія во второй. А потому вообще:

*Если сопротивленія побѣждаемыя машинами одинаковы, то пользы ими доставляемыя относятся между собою, какъ скорости орудій этими машинами приводимыхъ въ движеніе.*

Посмотримъ теперь, какъ сравнить между собою двѣ машины, въ которыхъ и сопротивленія, преодолеваемыя орудіемъ, и скорости орудія между собою различны. Для этого вообразимъ двѣ

стругальныя машины; одна обстругиваетъ желѣзо и ея стругъ проходитъ 15 футовъ въ минуту; другая обстругиваетъ дерево и ея стругъ проходитъ только 5 футовъ въ минуту; съ перваго взгляда безъ всякаго размышленія ясно, что первая машина гораздо лучше второй; но во сколько разъ? Чтобы рѣшить этотъ вопросъ, я замѣчаю во-первыхъ, что могу заставить первую машину обстругивать также дерево, но ею могу приводить въ дѣйствіе не одинъ, а 8 струговъ; уже вслѣдствіе этого первую машиною я могу обстругать въ 8 разъ бѣльшую поверхность, чѣмъ второю; да еще прибавимъ къ этому, что каждый изъ этихъ струговъ въ минуту обстругиваетъ втрое бѣльшую площадь, чѣмъ стругъ второй машины, такъ что—если этотъ послѣдній обстругиваетъ площадь дерева въ 10 □ дюймовъ, то въ то же время каждый стругъ первой машины обстругиваетъ площадь въ 30 □ дюймовъ; да всѣхъ этихъ струговъ 8; слѣд. первую машиною въ минуту будетъ обстругана площадь въ 8 разъ 30 □ дюймовъ, или въ 240 □ д.; вторая же машина въ минуту обстругала только 10 □ дюймовъ; изъ этого видно, что первая машина въ 24 раза лучше второй. Посмотримъ же, откуда получилось это число 24; всякій, кто слѣдилъ за разсужденіемъ, видитъ совершенно ясно, что оно

произошло отъ того, что перемножились между собою числа 8 и 3, изъ которыхъ первое, т.-е. 8, означаетъ во сколько разъ сопротивленіе, представляемое первой машинѣ больше, чѣмъ сопротивленіе представляемое второй машинѣ, а второе, т.-е. 3, означаетъ во сколько разъ быстрее движется орудіе первой машины сравнительно съ орудіемъ второй.

Не трудно видѣть, что какой бы случай мы ни взяли, результатъ всегда выйдетъ тотъ же; такъ-что вообще:

*Если сопротивленія преодолеваемая двумя машинами неодинаковы, и скорости, съ которыми движутся ихъ орудія тоже различны, то пользы ими доставляемыя относятся между собою какъ произведенія сопротивленій, ими преодолеваемыхъ, на пути проходимые ихъ орудіями въ одно и то же время.*

Легко видѣть, что это правило будетъ вѣрно и тогда, когда скорости орудій, или сопротивленія будутъ между собою одинаковы; на самомъ дѣлѣ пусть имѣемъ двѣ машины, которыя обѣ преодолеваютъ сопротивленія въ 15 фунтовъ, но орудіе первой проходитъ въ минуту 10, а орудіе второй проходитъ въ минуту 20 футовъ; на основаніи разсужденій сдѣланныхъ въ началѣ лекціи, польза до-

ставляемая первою машиною вдвое меньше, чѣмъ польза, приносимая второю; на основаніи же только-что сказаннаго положенія, пользы доставляемыя этими машинами относятся какъ 150 къ 300; но очевидно, что 150 также вдвое меньше 300.

Такимъ-образомъ мы видимъ, что произведеніе изъ сопротивленія, преодолеваемого машиною, на путь, проходимый въ нѣкоторое опредѣленное время орудіемъ, во всѣхъ безъ исключенія случаяхъ представляетъ пользу доставляемую машиною, и потому можетъ служить основаніемъ для коммерческой оцѣнки машинъ. Чѣмъ больше это произведеніе; тѣмъ лучше машина, тѣмъ дороже она цѣнится, изъ чего уже видно, какъ важно число этимъ произведеніемъ выражаемое; а потому оно носитъ особое названіе; его именуютъ обыкновенно *полезною работою*, которую можетъ доставить машина. Въ какихъ же единицахъ можно выразить эту полезную работу? Путь проходимый орудіемъ обыкновенно выражаютъ въ футахъ, такъ-что число изображающее этотъ путь всегда есть число футовъ; сопротивленіе же подобно всякой силѣ сравниваютъ съ вѣсомъ тѣлъ и измѣряютъ числомъ пудовъ; слѣдовательно единица полезной работы получится, когда орудіе преодолеваетъ сопротивленіе въ одинъ пудъ, и проходитъ путь въ одинъ футъ

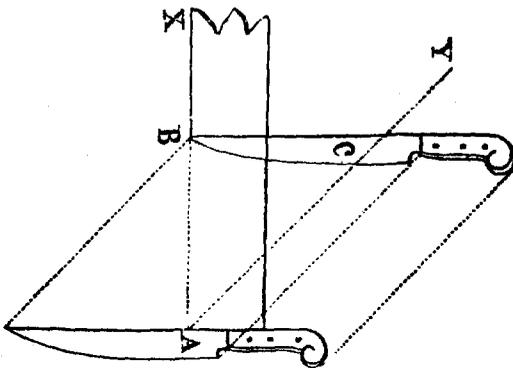
длиною; эта единица и называется *пудофутомъ*. Нерѣдко пришлось бы употреблять огромныя числа для того, чтобы выразить въ пудофутахъ полезную работу, а потому обыкновенно выражаютъ ее въ такъ-называемыхъ лошадиныхъ силахъ, основываясь на слѣдующемъ замѣчаніи: принимаютъ, что хорошая, сильная лошадь можетъ работать 8 часовъ втеченіи сутокъ безъ утомленія (т.-е. на другой день она также годна для той же работы), если ее заставляютъ втеченіи каждой секунды поднимать на высоту трехъ футовъ грузъ въ пять пудовъ; такъ-что полезная работа, которую можетъ доставить лошадь втеченіи каждой секунды будетъ 15 пудофутовъ; поэтому и машину называютъ въ одну лошадиную силу, если она каждую секунду даетъ полезную работу въ 15 пудофутовъ, т.-е. если она каждую секунду преодолеваетъ сопротивленіе въ 1 пудъ со скоростью 15 футовъ, или сопротивленіе въ 3 пуда со скоростью 5 футовъ, или сопротивленіе въ 5 пудовъ со скоростью 3 футовъ, или сопротивленіе въ  $7\frac{1}{2}$  пудовъ со скоростью 2 футовъ, или сопротивленіе въ 10 пудовъ со скоростью  $1\frac{1}{2}$  футовъ, или сопротивленіе въ 15 пудовъ со скоростью одного фута, или сопротивленіе въ 30 пудовъ со скоростью  $\frac{1}{2}$  фута, и такъ далье.

Замѣтимъ, прежде чѣмъ оставлять этотъ предметъ, что для сравненія между собою полезныхъ дѣйствій, производимыхъ разными машинами, можно употребить слѣдующій весьма наглядный способъ. Пусть будутъ двѣ машины преодолевающія извѣстныя полезныя сопротивленія, напр. 2 и 3 пуда со скоростями 10 и 15 футовъ въ секунду; сдѣлайте два сосуда, и въ дни ихъ устройте по от-верстію, въ одномъ въ 2, а въ другомъ въ 3 квадратныхъ фута; закрывъ предварительно от-верстія, наполните оба сосуда водою до такой вы-соты, чтобы, когда откроются от-верстія, то изъ перваго вода вытекала бы со скоростью 10, а изъ втораго со скоростью 15 фут.; затѣмъ от-кройте от-верстія, и наполняйте постоянно убывъ въ водѣ, которая произойдетъ черезъ вытеканіе; замѣтьте число кубическихъ футовъ израсходован-ныхъ каждымъ от-верстіемъ. Это число и дастъ вамъ прямо число пудофутовъ работы, доставлен-ныхъ каждою машиною. На самомъ дѣлѣ первая машина преодолеваетъ каждую секунду сопроти-вленіе въ два пуда со скоростью 10 футовъ, слѣ-довательно доставляетъ ежесекундно полезную ра-боту въ 20 пудофутовъ; но и от-верстіе имѣющее 2 квадратныхъ фута площади, чрезъ которое те-четъ вода со скоростью 10 футовъ, расходуетъ въ

секунду также 20 кубических футовъ воды; точно также вторая машина, преодолевая постоянно сопротивление въ 3 пуда со скоростью 15 футовъ, доставляетъ работу въ 45 пудофутовъ, но и чрезъ отверстіе, имѣющее площадь въ 3 квадратныхъ фута, и расходующее воду со скоростью 15 футовъ, протекаетъ въ секунду кубическихъ футовъ воды тоже 45; такъ — что если сдѣлаемъ въ сосудѣ отверстіе, заключающее въ себѣ столько  $\square$  футовъ, сколько пудовъ заключается въ полезномъ сопротивленіи, и станемъ наполнять сосудъ водою постоянно до такого уровня, что скорость воды въ отверстіи равна скорости орудія машины, то объемъ воды вытекшей чрезъ это отверстіе въ какое угодно время, выраженный въ кубическихъ футахъ, изобразить собою число пудофутовъ полезной работы, переданной въ то же время машиною орудію.

Понятіе о работѣ, которое мы объяснили въ предъидущихъ примѣрахъ, столь важно, что мы на немъ остановимся и постараемся развить его въ подробности. Во всѣхъ предъидущихъ примѣрахъ орудіе машины идетъ по тому же направленію, по которому идетъ и сопротивление, преодолеваемое машиною; для этого случая, какъ мы показали, польза приносимая машиною, или полезная работа ею доставляемая, измѣряется произведеніемъ изъ

преодолеваемого орудіемъ сопротивленія на путь имъ проходимый; но можетъ случиться, что орудіе движется не по тому направленію, по которому дѣйствуетъ сопротивленіе; напр. представимъ себѣ, что ножемъ мы щеплемъ лучину, и что въ то же самое время подвигаемъ ножъ отъ себя, такъ-

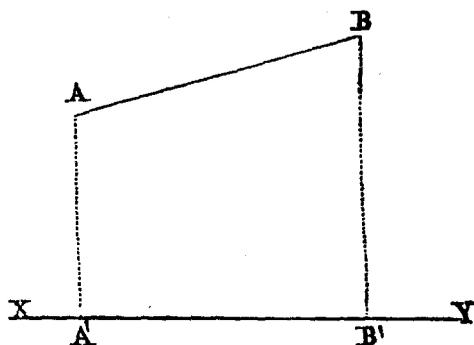


Черт. 60.

что орудіе движется не по направленію  $XA$  лучины, а по направленію  $YA$ , между — тѣмъ какъ сопротивленіе имъ преодолеваемое

имѣетъ направленіе  $AH$ ; тогда очевидно, полезное дѣйствіе произведенное орудіемъ будетъ то же самое, какъ еслибы оно двигалось по  $XA$ , но проходило бы только путь  $BA$ , который получимъ, опустивъ на  $AH$  изъ начала  $C$  пути  $CA$ , пройденнаго орудіемъ, перпендикуляръ  $CB$ . А потому въ этомъ случаѣ придется измѣрять полезную работу производимую орудіемъ не произведеніемъ изъ сопротивленія имъ преодолеваемого на путь имъ (т.-е. орудіемъ) проходимый, а произведеніемъ изъ этого сопротивленія, на путь проходимый оруді-

емъ по направленію сопротивленія; этотъ послѣдній путь получится, если изъ концовъ линіи пройденной орудіемъ опустимъ перпендикуляры на направленіе сопротивленія; путь  $AB$ , который отрѣжется такимъ-образомъ, математики называютъ проэктію пройденнаго пути  $CA$  на направленіе сопротивленія; причеиъ подъ именемъ проэктіи одной линіи  $AB$  на другую  $XU$  вообще разумѣютъ разстоя-



Черт. 61.

ніе  $A'B'$  перпендикуляровъ опущенныхъ изъ концовъ  $A$  и  $B$  первой линіи  $AB$  на вторую  $XU$ . Поэтому для измѣренія полезной работы

машины вообще нужно перемножить между собою величину сопротивленія преодолеваемого машиною и проэктію на направленіе этого сопротивленія пути пройденнаго орудіемъ, такъ-что если орудіе движется подъ такимъ угломъ къ направленію сопротивленія, что проэктія пройденнаго пути втрое меньше, чѣмъ самый путь, то очевидно, полезная работа произведенная машиною будетъ втрое меньше, чѣмъ тогда, когда орудіе движется прямо на встрѣчу сопротивленію; такъ-что мы получимъ слѣдующее общее

правило для опредѣленія полезныхъ работъ машины. Если хотите опредѣлить полезную работу машины, какъ бы ни двигалось орудіе, вычислите ее напередъ, какъ-будто орудіе идетъ прямо на встрѣчу сопротивленію, и затѣмъ полученную работу уменьшите въ извѣстное число разъ, которое будетъ зависѣть отъ угла между направлениемъ движенія орудія и направлениемъ сопротивленія; для облегченія вычисленія при этомъ можно напимѣрь всегда слѣдовать такому правилу: раздѣлите на 1000 равныхъ частей работу взятую въ предположеніи, что орудіе идетъ на встрѣчу сопротивленію, и затѣмъ замѣтивъ уголъ между направлениемъ сопротивленія и движеніемъ орудія, возьмите этихъ тысячныхъ долей столько, сколько ихъ стоитъ противъ замѣченнаго вами угла въ прилагаемой таблицѣ.

0° — 1000	35° — 819	70° — 342
5° — 996	40° — 766	75° — 259
10° — 985	45° — 707	80° — 174
15° — 966	50° — 643	85° — 87
20° — 940	55° — 574	90° — 0
25° — 906	60° — 500	
30° — 866	65° — 423	

Изъ этой таблицы видимъ, что работа доставляемая машиною становится все меньше-и-меньше

по-мѣрѣ-того, какъ направленіе движенія орудія приближается къ линіи перпендикулярной къ направленію сопротивленія, и наконецъ обратится въ ничто, когда орудіе станетъ двигаться перпендикулярно къ направленію сопротивленія. Это понятно само собою; на самомъ дѣлѣ, еслибы мы желая расколоть бревно клиномъ обрубилн конецъ бревна гладко и ровно, и затѣмъ по этому концу начали двигать клинъ не нажимая его во внутрь дерева, то какъ бы скоро мы его ни водили по бревну, разумѣется, мы бревна ни мало не расколемъ, и следовательно не получимъ отъ всего нашего труда ни малѣйшей пользы.

Измѣрить посредствомъ объема вытекающей изъ сосуда воды работу въ случаѣ, когда орудіе движется не прямо на встрѣчу сопротивленія, очень легко; для этого стоитъ только продѣлать отверстіе на такой глубинѣ подъ уровнемъ воды въ сосудѣ, чтобы вытекающая чрезъ это отверстіе вода, имѣла скорость уменьшенную противъ скорости орудія, сообразно съ угломъ подъ которымъ движется орудіе относительно преодолѣваемаго имъ сопротивленія, или же продѣлать въ сосудѣ отверстіе на такой высотѣ подъ уровнемъ воды, чтобы скорость воды была равна скорости орудія, а чтобы площадь отверстія представляла собою сопротивле-

ніе не полное, но уменьшенное, сообразно съ тѣмъ же самымъ угломъ, или что то же, чтобы оно представляло собою проэктію полного сопротивленія, на направленіе движенія орудія. Такъ-что вообще для измѣренія работы машины можно употреблять три приѣма, которые всегда приведуть къ одному и тому же результату: 1) Можно опредѣлить работу машины, умноживши пройденный орудіемъ путь на величину сопротивленія, которое оно преодолюетъ, и затѣмъ полученное число уменьшить на основаніи предъидущей таблицы сообразно съ угломъ между направленіемъ движенія орудія и сопротивленія. 2) Можно напередъ уменьшить сообразно съ этимъ угломъ путь пройденный орудіемъ, т.-е. взять проэктію пройденнаго пути на направленіе сопротивленія, и ее умножить на величину сопротивленія. 3) Можно взять проэктію сопротивленія на направленіе движенія орудія и ее умножить на путь дѣйствительно проходимый орудіемъ.

Всѣ три вычисленія дадутъ одинъ и тотъ же результатъ. Если напр. сопротивленіе будетъ 7 пудовъ, движеніе орудія въ минуту 8 футовъ, а уголь между направленіемъ движенія орудія и сопротивленіемъ  $60^\circ$ , то по первому способу получимъ полезную работу машины въ минуту, умноживъ 7 пу-

довъ на 8 футовъ, т.-е. взявъ число 56 пудофуртовъ, раздѣливъ его на 1000 равныхъ частей и взявъ такихъ частей 500, или все-равно уменьшивъ 56 вдвое; слѣд. полезная работа машины въ минуту будетъ 28 пудофуртовъ.

По второму правилу нужно 8 футовъ уменьшить вдвое, т.-е. взять 4 фута, и помножить это на 7 пудовъ; опять получимъ 28 пудофуртовъ.

По третьему правилу 7 пудовъ нужно уменьшить вдвое, т.-е. взять  $3\frac{1}{2}$  пуда, и это число помножить на 8, т.-е. взять 8 разъ; опять получимъ 28 пудофуртовъ.

Понятіе о работѣ мы прилагали доселѣ къ полезному сопротивленію, которое преодолевается машиною, но его можно распространить и на всякую силу дѣйствующую въ машинѣ. Для этого мы вообще назовемъ работою силы число, которое получимъ, если выраженную въ пудахъ величину силы приложенной къ тѣлу, помножимъ на путь пройденный тѣломъ, и уменьшимъ такимъ-образомъ полученное число сообразно съ угломъ между силою и направлениемъ движенія.

То же число для работы получится, если умножимъ между собою величину силы и проэкцію пройденнаго пути на направленіе силы. То же самое число получимъ также, если умножимъ между со-

бою пройденный тѣломъ путь и проэктію силы на направленіе движенія.

Иногда бываетъ удобнѣе примѣнить первый, иногда второй, а иногда третій способъ для нахождения работы силы.

Изъ даннаго опредѣленія работы видно, что она будетъ нулемъ въ трехъ случаяхъ:

1) Работа силы есть нуль, когда сила равна нулю; такъ, напримѣръ, если къ тѣлу приложено нѣсколько силъ взаимно другъ друга уравновѣшивающихъ, то-есть имѣющихъ равнодѣйствующую равную нулю, то работа этой равнодѣйствующей есть нуль, какъ бы ни двигалось тѣло.

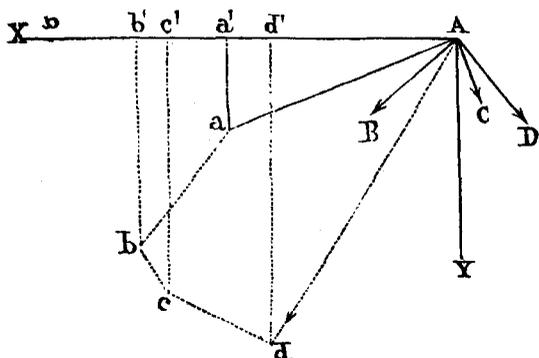
2) Работа силы есть нуль, когда тѣло, на которое она дѣйствуетъ, находится въ покоѣ.

3) Работа силы есть нуль, когда тѣло идетъ по направленію перпендикулярному къ направленію силы; ибо тогда проэктія силы на направленіе движенія будетъ нулемъ. Такъ работа вѣса повозки идущей по горизонтальной плоскости будетъ нуль; ибо направленіе движенія перпендикулярно къ отвѣсному направленію силы тяжести или вѣса повозки.

Назовемъ силою ускоряющую движеніе (или просто силою) ту, которая съ его направленіемъ составляетъ острый уголъ; назовемъ силою замед-

ляющею движеніе (или сопротивленіемъ) ту, которая составляетъ съ его направленіемъ тупой уголъ (причина такихъ названій понятна сама собою); и положимъ, что нѣсколько такихъ ускоряющихъ и замедляющихъ силъ дѣйствуютъ на одно тѣло; известно, что всѣ эти силы могутъ быть замѣнены одною ихъ равнодѣйствующею; эта равнодѣйствующая будетъ различна смотря по тому, каковы дѣйствительныя силы приложенныя къ тѣлу, и мы знаемъ, что она будетъ замыкающая сторона многоугольника, который получится если отложимъ всѣ силы одну вслѣдъ за другою по ихъ направленіямъ, и конецъ полученнаго чертежа соединимъ съ началомъ; такъ, напримѣръ, пусть силы дѣйствующія на тѣло будутъ  $AC$  въ 9,  $AB$  въ 8,  $Aa$  въ 7 и  $AD$  въ 6 пудовъ; условимся каждый пудъ изображать дюймою и построимъ на линіяхъ, которыми изобразятся данныя силы, многоугольникъ  $Aabcd$ ; смѣримъ затѣмъ сторону  $Ad$ ; если она будетъ 10 дюймовъ, то значитъ всѣ силы въ 9, 8, 7 и 6 пудовъ дѣйствующія на тѣло по направленіямъ  $AB$ ,  $AC$ ,  $AD$  и  $Aa$  вполне замѣняются одною силою въ 10 пудовъ, дѣйствующею по направленію  $Ad$ . Легко видѣть, что какъ бы ни двигалось тѣло, всегда работа равнодѣйствующей будетъ равна суммѣ работъ силъ ускоряющихъ его движеніе, безъ суммы

работъ силъ его замедляющихъ, или наоборотъ, если вторая сумма больше первой. На самомъ дѣлѣ пусть тѣло въ силу какихъ ни есть причинъ идетъ по



Черт. 62.

направленію  $AX$  и проходить по немъ путь на- прим. въ три фута; проведемъ черезъ точку  $A$  перпендикуляръ  $AY$  къ  $AX$ ;  $AD$  и  $AC$  будутъ си-

лы замедляющія движеніе тѣла;  $Aa$  и  $AB$  будутъ силы ускоряющія это движеніе; работы силъ  $Aa$  и  $AB$  будутъ 3 фута  $\times$   $Aa'$  и 3 фута  $\times$   $a'b'$ ; сумма этихъ работъ выразится слѣд. 3 раза взятою линіею  $Aa'$ , да три раза взятою линіею  $a'b'$ , или все-равно три раза взятою линіею  $Ab'$ . Работы же замедляющихъ силъ будутъ  $3 \times c'b'$  и  $3 \times c'd'$  такъ, что сумма работъ силъ замедляющихъ движеніе будетъ три раза взятая линія  $b'd'$ ; а потому если вычтемъ изъ суммы работъ ускоряющихъ силъ сумму работъ силъ замедляющихъ, то получимъ три раза взятую линію  $Ab'$ , безъ три же раза взятой линіи  $b'd'$ , или что то же, три раза взятую линію  $Ad'$ ; такъ-что сумма работъ уско-

ряющихъ силъ безъ суммы работъ силъ замедляющихъ будетъ измѣряться три раза взятою линіею  $Ad'$ ; но очевидно также, что три раза взятая линія  $Ad'$  представитъ и работу силы  $Ad$ , равнодѣйствующей всѣмъ даннымъ силамъ, потому-что  $Ad'$  есть проэкція этой равнодѣйствующей на направленіе движенія, а  $3$  фута есть путь пройденный тѣломъ. А потому мы и заключаемъ, что *если на тѣло дѣйствуетъ нѣсколько силъ, то какъ бы тѣло ни двигалось, всегда работа равнодѣйствующей всѣмъ силамъ равна суммѣ работъ силъ ускоряющихъ, безъ суммы работъ силъ замедляющихъ движеніе.* Еслибы равнодѣйствующая  $Ad$  въ предъидущемъ чертежѣ была замедляющею силою, то мы получили бы наоборотъ: работа равнодѣйствующей равна суммѣ работъ силъ замедляющихъ, безъ работы силъ ускоряющихъ движеніе.

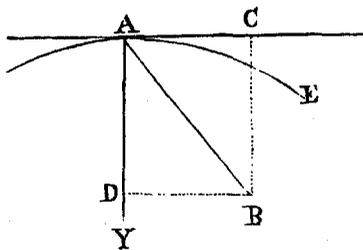
Это положеніе весьма важно для теоріи машинъ; чтобы его представить себѣ какъ-можно яснѣе, возьмемъ тѣло выходящее изъ покоя подъ дѣйствіемъ отчасти ускоряющихъ, а отчасти замедляющихъ его силъ; вообразимъ, что какимъ ни есть образомъ мы опредѣлили, что сумма работъ силъ ускоряющихъ движеніе въ первыя двѣ секунды была 10 пудофутовъ; работа же замедляющихъ силъ была въ то же время 6 пудофутовъ; изъ этого

на основаніи предъидущаго заключимъ, что работа равнодѣйствующей этимъ силамъ въ тѣ же двѣ секунды составляла 4 пудофута. Вообразимъ теперь сосудъ, въ который вливается въ первыя двѣ секунды 10 кубич. футовъ воды, и выливается 6 кубич. футовъ; ясно, что въ концѣ второй секунды въ сосудѣ будетъ 4 кубич. фута воды, т.-е. въ немъ будетъ столько же куб. футовъ воды, сколько пудофотовъ заключается въ работѣ равнодѣйствующей всѣхъ силъ. Нетрудно видѣть, что вообще подобное положеніе будетъ справедливо, т.-е. если мы вообразимъ сосудъ, въ который вливается постоянно объемъ воды равный работѣ движущихъ или ускоряющихъ силъ, и изъ котораго выливается объемъ воды равный работѣ замедляющихъ силъ, то объемъ ея, который по истеченіи какого-либо времени будетъ въ сосудѣ, представитъ собою работу, произведенную въ это время равнодѣйствующею всѣхъ, какъ ускоряющихъ, такъ и замедляющихъ силъ; это наглядное изображеніе отношенія существующаго между работами разныхъ силъ дѣйствующихъ на тѣло, много намъ поможетъ. Чтобы тотчасъ имъ воспользоваться, замѣтимъ, что равнодѣйствующая всѣхъ силъ приложенныхъ къ тѣлу измѣняетъ извѣстнымъ образомъ его состояніе, и сообщаетъ ему извѣстное опредѣленное движеніе,

слѣд. работа равнодѣйствующей находится въ извѣстной связи съ движеніемъ тѣла, а потому по количеству воды, заключающейся въ сосудѣ, которое какъ извѣстно изображаетъ эту работу, можно составить себѣ нѣкоторое понятіе о движеніи тѣла; чтобы достигнуть этого нужно изучить связь, которая существуетъ между работою силы и движеніемъ, которое сила производитъ.

Замѣтимъ съ самаго начала, что работа равнодѣйствующей всѣхъ силъ приложенныхъ къ тѣлу, которая у насъ изображалась объемомъ оставшейся въ сосудѣ воды, не зависитъ отъ того, измѣняется ли или нѣтъ направленіе тѣла, а опредѣляетъ собою только перемѣну, происходящей въ его скорости, такъ-что, слѣдовательно, работа силы будетъ въ одинаковой связи съ движеніемъ тѣла, будетъ ли оно двигаться по прямой линіи или по какой угодно кривой.

На самомъ дѣлѣ, пусть  $AE$  произвольная кривая

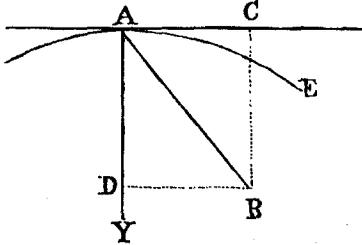


Черт.. 63.

линія, по которой движется тѣло, и пусть это тѣло въ нынѣшнее мгновеніе находится въ точкѣ  $A$ ; черезъ  $A$  (черт. 4)

могу провести безчисленное множество прямыхъ

линій; одна изъ нихъ,  $AC$ , будетъ лежать около точки  $A$  къ кривой ближе, чѣмъ всякая другая прямая проходящая черезъ  $A$ . Эта ближайшая къ кривой изъ всѣхъ проведенныхъ черезъ  $A$  прямыхъ линій, называется касательною къ кривой въ точкѣ  $A$ . Она представляетъ собою направленіе движенія въ точкѣ  $A$ , т.-е. направленіе, по которому пошло бы тѣло, еслибы на него въ ту пору, какъ оно находится въ  $A$ , не дѣйствовала никакая сила; но на него дѣйствуютъ многія силы; пусть ихъ равно-



дѣйствующая будетъ  $AB$ ; ея работу втеченіи нѣкотораго очень малаго времени мы найдемъ, какъ извѣстно, перемно-

живъ между собою перемѣщеніе тѣла въ это время и проэктію силы  $AB$  на направленіе движенія, т.-е. умноживъ часть пути пройденнаго тѣломъ на отрѣзокъ  $AC$ , который получимъ на прямой  $AC$ , если изъ  $B$  опустимъ на нее перпендикуляръ  $BC$ ; слѣд. работу равнодѣйствующей при криволинейномъ движеніи получимъ точно такъ же, какъ при прямолинейномъ, только вмѣсто силы  $AB$  нужно взять  $AC$ ; но если силу  $AB$  представимъ въ видѣ двухъ силъ, изъ которыхъ одна идетъ по напра-

влению движения  $AC$ , а другая по прямой  $AU$  къ ней перпендикулярной, то  $AC$  и будетъ та часть силы  $AB$ , которая дѣйствуетъ по направленію движения. Чтѣ же производить эта, входящая въ выраженіе работы часть  $AC$  силы  $AB$ ? Съ перваго раза видно, что  $AC$  не можетъ измѣнить направленіе тѣла, ибо само тѣло по инерціи стремится двигаться по  $AC$ , да и сила  $AC$  побуждаетъ его къ тому же; слѣд. сила  $AC$  не измѣняетъ направленія тѣла, величина перемѣщенія тоже не зависитъ отъ перемѣны въ направленіи, а потому и работа силы  $AB$  не зависитъ отъ этой перемѣны и будетъ увеличиваться или уменьшаться, только смотря по тому, какъ измѣняется скорость движения тѣла.

Но, можетъ-быть, эта работа и скорость тѣла связаны между собою въ криволинейномъ движении другимъ закономъ, чѣмъ въ прямолинейномъ? Легко доказать, что это неправда. На-самомъ-дѣлѣ: 1) величина перемѣщенія тѣла зависитъ отъ скорости совершенно одинаково въ движении прямолинейномъ и криволинейномъ; 2) сила  $AD$  не можетъ имѣть никакого вліянія на скорость тѣла; ибо будучи наклонена одинаково, какъ къ направленію движения, такъ и къ направленію прямо противоположному, она не можетъ подвинуть тѣла ни въ ту, ни въ другую сторону; сила же  $AC$ ,

отъ которой только и зависитъ работа равнодѣйствующей, дѣйствуетъ на измѣненіе скорости очевидно при тѣхъ же самыхъ условіяхъ, какъ и въ прямолинейномъ движеніи. Дѣйствительно, разница состоитъ здѣсь лишь въ томъ, что вмѣстѣ съ  $AC$  дѣйствуетъ и сила  $AD$  (еслибы этой силы не было, то движеніе было бы прямолинейное); но присутствіе силы  $AD$  ничего не измѣняетъ, ибо какъ знаемъ дѣйствіе каждой силы не зависитъ отъ того, дѣйствуютъ ли вмѣстѣ съ нею другія силы или нѣтъ.

Поэтому, чтобы найти отношеніе, которое существуетъ между скоростью движенія тѣла, и оставшимся въ сосудѣ количествомъ воды, изображающимъ работу равнодѣйствующей всѣхъ силъ приложенныхъ къ тѣлу, достаточно изучить эту связь въ простѣйшемъ изъ движеній, именно въ прямолинейномъ; всѣ заключенія, которыя такимъ образомъ получимъ, будутъ справедливы, какъ бы ни двигалось тѣло.

Вообразимъ же тѣло извѣстной массы, движущееся по прямой линіи подъ вліяніемъ нѣсколькихъ ускоряющихъ и замедляющихъ силъ, изъ которыхъ первыя идутъ по направленію движенія, а вторыя по направленію противоположному. Вообразимъ также сосудъ съ извѣстною площадью поперечнаго сѣченія, въ который вливается объемъ

воды, равной работѣ ускоряющихъ и выливается объемъ воды равной работѣ замедляющихъ силъ; положимъ, что ускоряющія силы больше замедляющихъ; тѣло будетъ двигаться постепенно все быстрѣе и быстрѣе, но въ то же время очевидно и уровень воды будетъ въ нашемъ сосудѣ возвышаться. Вообразимъ затѣмъ, что силы замедляющія станутъ равны ускоряющимъ силамъ; тѣло не будетъ ни ускорять, ни замедлять движенія, — будетъ двигаться равномерно; вмѣстѣ съ тѣмъ и высота воды въ сосудѣ не будетъ измѣняться; положимъ потомъ, что ускоряющія силы станутъ меньше замедляющихъ, движеніе тѣла можетъ становиться все медленнѣе и медленнѣе; вмѣстѣ съ тѣмъ уровень воды въ сосудѣ понижается. Изъ этого мы видимъ, что если тѣло выведено изъ покоя дѣйствіемъ нѣкоторыхъ силъ, то скорость, которую оно прибрѣтаетъ по истеченіи извѣстнаго времени, находится въ нѣкоторой связи съ высотой воды въ сосудѣ, нами взятомъ, и извѣстнымъ образомъ зависитъ отъ этой высоты, или что то же — отъ работы равнодѣйствующей всѣмъ силамъ къ тѣлу приложеннымъ. Но легко показать, что скорость тѣла больше ни отъ чего и не зависитъ, какъ отъ этой работы, такъ что когда извѣстны работы силъ, то можно опредѣлить скорость, которую имѣетъ тѣло, и на оборотъ, когда

извѣстна скорость тѣла, то можно опредѣлить работу силъ, потраченную на сообщеніе тѣлу этой скорости.

Чтобы доказать это чрезвычайно важное для теоріи машинъ положеніе, стоитъ только показать, что какія бы силы ни дѣйствовали на одно и то же тѣло, — работа ихъ равнодѣйствующей всегда будетъ одна и та же, если только скорость тѣла при окончаніи ихъ дѣйствія одна и та же.

Возьмемъ, на примѣръ, тотъ случай, когда на то же тѣло, которое прежде разсматривали, дѣйствуютъ вдвое бѣльшія силы, но зато втеченіи вдвое мѣньшаго времени. Эти силы сообщатъ ту же скорость. Разсмотримъ, какова будетъ ихъ работа. Мы сказали, что силы дѣйствующія на тѣло стали вдвое больше, но время ихъ дѣйствія стало вдвое меньше; отъ первой причины работа силъ увеличилась, а отъ второй уменьшилась; посмотримъ, во сколько разъ она увеличивается отъ первой и во сколько уменьшается отъ второй причины; еслибы силы вдвое бѣльшія дѣйствовали на тѣло то же время, что и прежде, то тѣло прошло бы вдвое бѣльшій путь; слѣд. работа силъ увеличилась бы вчетверо; ибо сами силы стали вдвое больше, да и путь пройденный тѣломъ сталъ вдвое больше; замѣтимъ это и посмотримъ, какъ уменьши-

лась бы работа, еслибы силы остались тѣ же, но дѣйствовали втеченіи вдвое мѣньшаго времени. Работа можетъ уменьшиться только отъ того, что путь пройденный тѣломъ уменьшится; но при уменьшеніи времени вдвое, путь проходимый тѣломъ подѣ дѣйствіемъ тѣхъ же силъ уменьшается вчетверо; слѣд. отъ уменьшенія вдвое времени, втеченіи котораго дѣйствуютъ силы, работа ихъ уменьшается въ четыре раза, т.-е. во столько же разъ, во сколько она увеличивается отъ увеличенія вдвое силы; слѣд., эта работа при совокупномъ увеличеніи вдвое силы и уменьшеніи вдвое времени, вовсе не перемѣняется; точно такими же разсужденіями найдемъ, что какъ бы ни измѣнились дѣйствующія на тѣло силы, если только сообщаемая ими тѣлу скорость не перемѣняется, то и работа силъ остается безъ перемѣны; а потому когда дана работа силъ, дѣйствовавшихъ на тѣло втеченіи какого угодно времени, то дана также и скорость тѣла; но въ нашемъ сосудѣ работа равнодѣйствующей силы вполнѣ выражается водостояніемъ; слѣд., скорость тѣла и высота воды въ нашемъ сосудѣ находятся въ такой между собою зависимости, что съ измѣненіемъ высоты измѣняется непремѣнно и скорость тѣла, а какъ-только высота воды остается постоянной, то и скорость тѣла не измѣняется.

Какъ же измѣняется скорость тѣла вмѣстѣ съ измѣненіемъ высоты воды въ сосудѣ, или что то же, съ измѣненіемъ работы равнодѣйствующей всѣмъ силамъ къ тѣлу приложеннымъ?

Чтобы объяснить это, представимъ себѣ, что на то же тѣло, какъ прежде, дѣйствуютъ тѣ же силы, что прежде, но втеченіи вдвое бѣльшаго времени; мы знаемъ, что тѣло получить вдвое бѣльшую скорость и пройдетъ вчетверо бѣльшее пространство; слѣд. работа силъ, а потому и высота воды въ нашемъ сосудѣ увеличатся въ четыре раза, между-тѣмъ какъ скорость увеличится всего въ два раза. Итакъ съ увеличеніемъ вдвое скорости тѣла, высота воды прибываетъ въ сосудѣ вчетверо; точно также нашли бы, что съ увеличеніемъ скорости въ 3 раза, высота воды прибываетъ въ 9 разъ; съ увеличеніемъ скорости вчетверо, высота воды прибываетъ въ 16 разъ и пр., а по-этому, если мы выберемъ для помощи нашимъ соображеніямъ о движеніи какого-нибудь давнаго тѣла сосудъ воды, съ такимъ поперечнымъ сѣченіемъ, что одинъ футъ ея высоты отвѣчаетъ скорости тѣла тоже въ одинъ футъ, то замѣтивъ потомъ высоту этой воды въ сосудѣ по истеченіи какого угодно времени, тотчасъ можемъ опредѣлить скорость тѣла въ концѣ этого времени;

если найдемъ, напримѣръ, что по истеченіи какого угодно времени высота воды въ сосудѣ будетъ 25 футовъ, то отсюда заключимъ, что искомая скорость тѣла будетъ 5 футовъ; если мы замѣтимъ, что высота воды есть 36 футовъ, то найдемъ, что скорость тѣла будетъ 6 футовъ; если высота воды въ сосудѣ будетъ 49 футовъ, то заключимъ, что скорость тѣла будетъ 7 футовъ, и т. д.

Вообще, чтобы, замѣтивши высоту воды въ нашемъ сосудѣ, найти соответствующую скорость тѣла, нужно приискать такое число, которое будучи само на себя умножено, давало бы высоту воды въ нашемъ сосудѣ. Такъ, еслибы мы нашли высоту воды въ сосудѣ равною 20 футамъ, то заключили бы, что скорость тѣла будетъ между 4 и 5 футами; ибо  $4 \times 4 = 16$ , а  $5 \times 5 = 25$ ; притомъ ясно, что эта скорость будетъ очень близка къ  $4\frac{1}{2}$  футамъ, потому-что  $4\frac{1}{2}$  фута, взятые  $4\frac{1}{2}$  раза, дадутъ  $20\frac{1}{4}$ , такъ-что скорость тѣла во взятомъ примѣрѣ будетъ чуть-чуть только меньше  $4\frac{1}{2}$  футовъ.

Тотъ же самый сосудъ могъ бы служить для опредѣленія по даннымъ работамъ скорости и всѣхъ другихъ тѣлъ; но соображенія сдѣлались бы нѣсколько сложнѣе; на-самомъ-дѣлѣ если масса новаго тѣла будетъ вдвое больше, чѣмъ прежняго,

то очевидно, нужно употребить вдвое большій избытокъ силъ надъ сопротивленіемъ, чтобы въ то же время какъ прежде сообщить тѣлу скорость въ одинъ футъ; а потому и работа силъ нужная для этого будетъ вдвое больше, чѣмъ прежде; и слѣд. еслибы мы для нагляднаго изображенія движенія этого тѣла употребили тотъ же сосудъ, то въ немъ отвѣчающая одному футу скорости высота воды была бы уже не одинъ, а два фута; но если бы мы для этого новаго тѣла взяли сосудъ съ основаніемъ вдвое большимъ, то высота воды въ сосудѣ при скорости этого новаго тѣла въ одинъ футъ, была бы тоже одинъ футъ; слѣд. мы по водостоянію заключили бы о скорости тѣла совершенно точно такъ же, какъ и тогда, когда разсматривали движеніе вдвое меньшаго тѣла; слѣд. чтобы совершенно опредѣлить скорость какого угодно тѣла стояніемъ воды въ нашемъ сосудѣ, нужно только разсмотреть, къ какому тѣлу будетъ относиться сосудъ, имѣющій основаніемъ одинъ  $\square$  футъ. Чтобы рѣшить этотъ вопросъ, замѣтимъ, что когда высота воды въ этомъ сосудѣ будетъ 1 футъ, то работа силы движущей тѣло будетъ пудофутъ; слѣд. нужно только разобрать, какое тѣло получаетъ скорость равную футу, когда работа силы его движущей будетъ пудофутъ. Чтобы найти такое тѣло, замѣтимъ, что

каждое тѣло въ концѣ первой секунды паденія имѣетъ скорость въ 32 фута; слѣдовательно, скорость въ одинъ футъ оно имѣетъ по истеченіи  $\frac{1}{32}$  доли секунды отъ начала паденія; въ одну же тридцать-вторую долю секунды оно проходитъ путь въ  $32 \times 32$  или въ 1024 раза мѣньшій 16 футовъ (пути проходимаго въ одну секунду). Слѣд. тяжелое тѣло получаетъ скорость въ одинъ футъ прошедши  $\frac{16}{1024}$  или  $\frac{1}{64}$  долю фута; чтобы работа его вѣса была при этомъ пудофутъ, очевидно нужно, чтобы вѣсъ тѣла былъ 64 пуда. Поэтому гиря въ 64 пуда, чтобы пріобрѣсти скорость въ одинъ футъ, требуетъ одного пудофута работы, и слѣд. въ нашемъ изображеніи движенія—требуетъ для себя сосуда съ основаніемъ въ одинъ  $\square$  футъ.

Посему отнынѣ мы условимся изображать стояніемъ воды въ сосудѣ, имѣющемъ одинъ  $\square$  футъ въ основаніи, движеніе тѣла въ 64 пуда вѣса. Движеніе тѣла въ 32 пуда будетъ изображаться стояніемъ воды въ сосудѣ имѣющемъ половину  $\square$  фут. въ основаніи, и такъ далѣе.

Принявши это условіе, мы безъ малѣйшаго труда можемъ по одному и тому же правилу для всѣхъ безъ исключенія тѣлъ опредѣлять ихъ скорости, коль скоро даны будутъ работы силъ къ нимъ приложенныхъ.

Итакъ, когда дана работа силъ дѣйствующихъ на тѣло, и извѣстенъ его вѣсъ, то мы тотчасъ съ помощію нашего сосуда воды можемъ опредѣлить скорость движенія этого тѣла. На самомъ дѣлѣ пусть сказано, что движется тѣло въ 16 пудовъ вѣсомъ, что работа силъ, выведшихъ его изъ покоя втеченіи первыхъ двухъ минутъ его движенія будетъ 40 пудофутовъ, а работа сопротивленій будетъ 36 пудофутовъ; спрашивается, какъ велика будетъ скорость тѣла по истеченіи первыхъ двухъ минутъ? Для рѣшенія этого вопроса, замѣтимъ, что еслибы наше тѣло вѣсило 64 пуда, то нужно бы было взять сосудъ съ основаніемъ имѣющимъ въ себѣ 1  $\square$  футъ, влить туда 40 куб. футовъ воды и вылить 36; высота оставшейся воды будетъ 4 фута, а потому скорость тѣла по истеченіи 2 минутъ была бы 2 фута; но наше тѣло вѣситъ только 16 пудовъ; слѣдовательно въ 4 раза меньше противъ 64 пудъ; а потому нужно взять сосудъ, имѣющій въ основаніи только  $\frac{1}{4}$   $\square$  фута; когда въ него вольемъ 40 куб. футовъ и выльемъ 36, то оставшаяся вода будетъ имѣть высоту въ 16 футовъ; а потому скорость тѣла по истеченіи первыхъ двухъ секундъ будетъ 4 фута.

Количество воды, которое остается въ нашемъ сосудѣ и представляетъ собою избытокъ работы

движущихъ силъ надъ работою сопротивленій, находится, какъ мы видимъ, въ весьма тѣсной связи со скоростью, которую приобретаетъ тѣло и съ его массою. Этотъ избытокъ работы очевидно можно разсматривать, какъ работу, которую поглотила масса для того, чтобы изъ покоя придти въ движеніе, и приобрести свою дѣйствительную скорость; эта работа, какъ изъ предъидущаго очевидно, возрастая пропорціонально массѣ (увеличиваясь вдвое, когда масса становится вдвое больше и т. д.), возрастаетъ не пропорціонально скорости, именно увеличивается въ 4 ( $2 \times 2$ ) раза, когда скорость становится вдвое больше, увеличивается въ 9 ( $3 \times 3$ ) разъ, когда скорость становится втрое больше. Говоря математическимъ языкомъ, нужно сказать, что количество работы поглощенной массою для приобретения извѣстной скорости, возрастаетъ пропорціонально квадрату этой скорости. Выраженная т.-об. въ зависимости отъ массы и скорости тѣла, работа имъ поглощенная для приобретения этой скорости называется *живою силою* тѣла; она очевидно представляетъ собою запасъ работы, который можетъ нѣкоторое время служить для преодоленія сопротивленій движенію тѣла, несмотря на то, что на него не дѣйствуютъ ни какія движущія силы. На самомъ дѣлѣ вообразимъ, что на тѣло, имѣющее извѣстную

скорость (и слѣд. отвѣчающій ей и массѣ тѣла запасъ воды въ сосудѣ изображающемъ его движеніе, т.-е. извѣстную живую силу), перестаютъ дѣйствовать движущія силы, но продолжаютъ дѣйствовать сопротивленія. Уровень воды въ нашемъ сосудѣ очевидно станетъ понижаться; слѣд. тѣло будетъ замедлять свое движеніе, но будетъ всё еще двигаться, пока работа сопротивленій, имъ побѣжденныхъ, не станетъ равна всему запасу воды, находившемуся въ сосудѣ, относящемуся къ нашему тѣлу, или пока работа сопротивленій побѣжденныхъ тѣломъ не поравняется съ живою силою этого тѣла.

---

## ЛЕКЦІЯ X.

**Приложеніе закона живыхъ силъ къ машинамъ. Работа внутреннихъ силъ отдѣльныхъ частей машины.**

На прошедшей лекціи мы старались вывести и объяснить механическій законъ, служащій основаніемъ всей теоріи машинъ и выражающій зависимость между движеніемъ тѣла и работами силъ и сопротивленій имѣющихъ на это движеніе вліяніе. Мы брали для этого тѣло совершенно свободное и имѣющее одинаковое движеніе во всѣхъ своихъ частяхъ; представляли себѣ, что это тѣло подъ вліяніемъ силъ и сопротивленій выходитъ изъ покоя, и приобрѣтаетъ черезъ нѣкоторое время извѣстную, опредѣленную скорость. Чтобы это дѣйствительно случилось, то-есть, чтобы тѣло на самомъ дѣлѣ вышло изъ покоя, и пришло въ движеніе съ тою скоростью, о которой мы говоримъ, необходимо, что-

бы работа силъ дѣйствовавшихъ на тѣло превосходила работу сопротивленій, и притомъ превосходила ее на нѣкоторую совершенно опредѣленную величину, которая тѣмъ больше, чѣмъ больше масса тѣла и чѣмъ больше его скорость; мы видѣли также, что избытокъ работы движущихъ силъ надъ работою сопротивленій, ни отчего больше, кромѣ массы тѣла и его скорости, не зависитъ. Какъ бы тѣло ни двигалось, по прямой или по кривой линіи, какія бы силы на нее ни дѣйствовали—большія ли, но короткое время, или малыя, но втеченіи значительнаго промежутка,—все равно,—для сообщенія тѣлу выходящему изъ покоя извѣстной скорости, всегда нуженъ одинъ и тотъ же избытокъ работы движущихъ силъ надъ работою сопротивленій. Этотъ избытокъ работы, нужный для сообщенія тѣлу извѣстной скорости, называется живою силою тѣла. Онъ представляетъ собою одну часть работы движущихъ силъ, которая всѣя состоитъ изъ этого избытка, изъ этой живой силы,—сложенной съ работою сопротивленій. Слѣдовательно разсматривая работу движущихъ силъ, мы можемъ раздѣлить ее на двѣ части: изъ нихъ одну,—равную работѣ сопротивленій,—можемъ разсматривать, какъ израсходованную на преодоленіе сопротивленій, на уничтоженіе того замедляющаго дѣйствія, которое онѣ

стремятся произвести, и которое произвели бы, еслибы не было этой части работы движущихъ силъ; другую же часть работы производимой движущими силами, равную живой силѣ тѣла, можно разсматривать, какъ-будто она употребляется на сообщеніе тѣлу извѣстной скорости, какъ-будто она поглощается движущимся тѣломъ, въ ту пору какъ оно изъ покоя приходитъ въ движеніе съ этою скоростью. Притомъ поглощенная движущею массою работа, представляетъ собою запасъ скопившейся въ ней работы. Движущееся тѣло можетъ эту работу израсходовать также на преодоленіе сопротивленій; если напр. приведенное одинъ разъ въ движеніе тѣло начинаетъ двигаться подъ вліяніемъ только однихъ сопротивленій своему движенію, то оно не останавливается, а продолжаетъ двигаться, пока работа встрѣчающихся ему сопротивленій не станетъ равна его живой силѣ, то-есть запасу работы въ ней скопившейся.

Этотъ же самый законъ мы выражали въ другой, формѣ; если возьмемъ сосудъ, имѣющій поперечное сѣченіе соразмѣрное съ массою тѣла, и будемъ въ него вливать объемъ воды равный работѣ силъ, и выливать объемъ равный работѣ сопротивленій, то стояніе воды въ сосудѣ въ каждое мгновеніе дастъ

намъ полное понятіе о скорости тѣла въ это мгновеніе.

Этотъ законъ легко примѣнить къ машинамъ; на-самомъ-дѣлѣ машина состоитъ изъ многихъ, взаимно связанныхъ тѣлъ, части которыхъ движутся не одинаково; но мы можемъ мысленно разбить всякую машину на матеріальныя точки, движенія частей которыхъ можемъ принимать между собою одинаковыми; точки эти связаны между собою; изъ нихъ однѣ до извѣстной степени мѣшаютъ нѣкоторымъ передвиженіямъ другихъ, но эти препятствія происходятъ отъ связи между точками, связь же эту очевидно можно разсматривать, какъ происходящую отъ дѣйствія нѣкоторыхъ особенныхъ силъ; если возьмемъ въ расчетъ эти силы, то можемъ принять, что каждая матеріальная точка машины свободна, но кромѣ внѣшнихъ силъ подвержена еще дѣйствию внутреннихъ силъ, о которыхъ мы только-что говорили, и которыя замѣняютъ собою связи, существующія между частями машины. Тогда вся машина будетъ состоять изъ очень малыхъ тѣлъ свободныхъ, изъ которыхъ каждое имѣетъ во всѣхъ своихъ частяхъ одинаковое движеніе; къ каждому изъ такихъ тѣлъ можетъ быть примѣненъ выше-выведенный законъ живыхъ силъ. Вообразимъ же, что для каждой изъ такихъ мелкихъ частей,—ма-

теріальныхъ точекъ, — построенъ сосудъ, съ поперечнымъ сѣченіемъ во столько разъ мѣньшимъ квадратнаго фута, во сколько разъ всѣ точки меньше 64 пудовъ. Положимъ, мы знаемъ работы силъ движущихъ эту точку и работы сопротивленій представляющихся ея движению; соразмѣривъ съ этими работами количества вливающейся въ сосудъ и изъ него выливающейся воды, можемъ судить о скорости движенія точки — по стоянію воды въ нашемъ сосудѣ; когда высота воды одинъ футъ, то и скорость точки одинъ футъ; когда высота воды четыре фута, — скорость точки два фута; когда высота воды между однимъ и четырьмя футами, то скорость точки между однимъ и двумя футами; когда высота воды девять футовъ, то скорость точки три фута; когда высота воды 16 футовъ, скорость точки 4 фута, и такъ далѣе.

Вообразимъ теперь, что всѣ эти сосуды, въ которыхъ мы можемъ отсчитывать скорости точекъ, составляющихъ машину, соединены въ одинъ; по стоянію въ немъ воды мы можемъ судить уже не о скорости каждой точки, а объ общей средней скорости всей машины для каждаго мгновенія. Этотъ сосудъ, слѣдовательно, не дастъ намъ полнаго понятія о движеніи каждой точки: если одна точка машины движется быстрѣе чѣмъ другая, то боль-

шее водостояніе, отвѣчающее первой точкѣ, будетъ нѣсколько уменьшено вслѣдствіе того, что водостояніе, отвѣчающее второй точкѣ, будетъ меньше, и слѣд. часть воды, которая должна бы стоять надъ площадью отвѣчающею первой точкѣ перельется и очутится надъ площадью отвѣчающею второй; тѣмъ не менѣе однако этотъ сосудъ съ водою доставитъ намъ всѣ нужныя данныя для того, чтобы судить о движеніи частей составляющихъ машину, потому — что, какъ сказано выше, всѣ точки машины находятся въ такой между собою связи, что могутъ двигаться только извѣстнымъ, опредѣленнымъ образомъ; слѣд. и скорости ихъ различныхъ частей такъ связаны между собою, что зная скорость одной точки, мы можемъ уже опредѣлить и скорости всѣхъ остальныхъ; а слѣдовательно зная для всей машины общую, среднюю скорость (которую очевидно можно разсматривать, какъ скорость нѣкоторой точки машины имѣющей среднее, не самое быстрое, но и не самое медленное движеніе), можемъ судить о скоростяхъ всѣхъ ея точекъ.

Поэтому, чтобы опредѣлить всѣ обстоятельства движенія машины съ помощію нашего сосуда съ водою, нужно только знать, сколько въ него вливается воды и сколько ея выливается въ какое

угодно данное время, — иначе какъ велика работа силъ, и какъ велика работа сопротивленій для каждаго даннаго времени. Изъ этого нагляднаго способа изображать движеніе какой угодно машины ясно слѣдуетъ, между прочимъ, слѣдующее весьма важное для теоріи машинъ положеніе:

*Если машина движется періодически, т.-е. такъ, что всѣ ея части по истеченіи извѣстнаго времени, — именуемаго періодомъ, — принимаютъ тѣ же скорости, какія имѣли въ началѣ періода, то сумма работъ силъ втеченіи періода дѣйствовавшихъ на машину, равна суммѣ работъ сопротивленій, — (работъ взятыхъ, разумѣется, для того же періода). На-самомъ-дѣлѣ, въ сосудѣ, относящемся къ нашей машинѣ, уровень воды въ началѣ и въ концѣ періода одинъ и тотъ же; слѣдовательно втеченіи періода воды въ сосудѣ столько же вливается, сколько ея изъ него выливается, т.-е. сумма работъ силъ составляетъ столько же, сколько составляетъ сумма работъ сопротивленій. Изъ этого положенія вытекаетъ прямо слѣдствіе: если машина движется равномерно, то взятая для какого угодно времени сумма работъ силъ непременно равна взятой для того же времени суммѣ работъ сопротивленій.*

Напротивъ, ходъ машины въ общей сложности

непрѣмѣнно ускоряется, если работа силъ больше, чѣмъ работа сопротивленій, и замедляется, если работа силъ меньше, чѣмъ работа сопротивленій.

Изъ того же разсмотрѣнія легко вывести, при какихъ условіяхъ машина можетъ оставаться въ покоѣ, несмотря на то, что къ ней приложены различныя дѣйствующія на нее силы.

Для этого замѣтимъ опять, что машина представляетъ собою систему тѣлъ или частицъ такъ связанныхъ между собою, что каждая изъ нихъ можетъ двигаться лишь по одной извѣстной определенной линіи въ одну или въ другую сторону; при этомъ очевидно можно однако разсматривать каждую частицу машины, какъ совершенно свободную ни съ чѣмъ и ничѣмъ не связанную; только вмѣсто связи, существующей между нею и остальною машиною, нужно разсматривать тѣ внутреннія силы, которыя производятъ эту связь. Но эти силы производятъ то, что каждая частица машины можетъ двигаться только по извѣстной определенной линіи въ одну или въ другую сторону, и притомъ когда одна частица машины идетъ въ извѣстномъ направленіи, напр. вправо, то и всѣ другія частицы машины движутся тоже въ извѣстныхъ направленіяхъ, вправо или влѣво, впередъ или назадъ, вверхъ или внизъ, смотря по устройству ма-

шины, такъ-что если первая частица идетъ вправо, то какая-нибудь другая частица машины не можетъ уже по произволу двигаться, напр. вправо или влѣво, — она непременно пойдеть по одному какому-нибудь изъ этихъ направлений. Изъ этого можно, относительно распредѣленія внутреннихъ силъ, производящихъ связь между частями машины, вывести два весьма важныхъ слѣдствія:

1) Внутреннія силы связывающія между собою части машины, распредѣлены такъ, что равнодѣйствующая всѣхъ силъ приложенныхъ къ одной и той же частицѣ машины идетъ по той линіи, которая представляетъ собою единственный возможный для движенія частицы путь.

2) Если одна изъ этихъ равнодѣйствующихъ побуждаетъ частицу двигаться въ известномъ опредѣленномъ направленіи, то равнодѣйствующія силъ приложенныхъ къ другимъ частицамъ, направлены такъ, что побуждаютъ ихъ двигаться въ ту сторону, въ которую влечетъ ихъ первая частица. На самомъ дѣлѣ еслибы эти равнодѣйствующія, приложенныя къ другимъ частицамъ, побуждали ихъ двигаться въ сторону противоположную той, въ которую влечетъ ихъ первая частица, то частицы эти будучи совершенно свободны и подвинулись бы по направленію приложенныхъ къ нимъ силъ; результа-

томъ былъ бы разрывъ или изломъ машины, — а мы рассматриваемъ здѣсь, конечно, только такія машины, которыя могутъ ходить не ломая сами себя.

Замѣтивъ это, мы безъ труда уже найдемъ условія, при которыхъ машина можетъ быть въ равновѣсіи несмотря на то, что на нее дѣйствуютъ силы. На-самомъ-дѣлѣ пусть машина остается въ покоѣ, хотя на нее дѣйствуютъ извѣстныя силы; значить, каждая точка машины остается въ покоѣ, — а слѣдовательно равнодѣйствующая всѣхъ силъ къ этой точкѣ приложенныхъ есть нуль, т.-е. силы и сопротивленія дѣйствующія на эту точку другъ друга взаимно уничтожаютъ, значить работа ускоряющихъ движеніе этой точки силъ равна работѣ замедляющихъ для всякаго ея перемѣщенія; слѣдовательно, если предположимъ въ частицѣ перемѣщеніе по той единственной линіи, по которой она можетъ двигаться, то работа силъ для этого перемѣщенія будетъ равна работѣ сопротивленій. Разсуждая точно такимъ же образомъ со всякою другою точкою машины, найдемъ, что вообще для того, чтобы машина оставалась въ покоѣ, необходимо, чтобы работа всѣхъ дѣйствующихъ на машину силъ вычисленная для одного котораго-нибудь изъ двухъ возможныхъ ея движеній была равна работѣ сопротивленій.

Но легко также показать, что этого условія вполне достаточно для равновѣсія машины, т.-е. какъ только вычисливъ для одного изъ возможныхъ движеній машины работу силъ на нее дѣйствующихъ, найдемъ, что она равна работѣ сопротивленій, то машина останется въ покоѣ.

На-самомъ-дѣлѣ чтобы машина приняла то движеніе, для котораго мы вычисляемъ работу силъ, необходимо, чтобы равнодѣйствующія внутреннихъ и внѣшнихъ силъ приложенныя къ точкамъ машины шли въ ту сторону, въ которую каждая изъ этихъ точекъ движется по предположенію; работа такихъ равнодѣйствующихъ уже не будетъ нулемъ для этого движенія, слѣдовательно (такъ-какъ работа равнодѣйствующей равна работѣ силъ безъ работы сопротивленій) уже работа силъ не будетъ равна работѣ сопротивленій, а будетъ больше ея; а потому, если работа силъ для взятаго нами движенія равна работѣ сопротивленій, то этого движенія машина не получитъ; но она не получитъ и прямо противоположнаго движенія, потому-что для этого противоположнаго движенія то, что прежде было силою, сдѣлается сопротивленіемъ, а то, что было сопротивленіемъ станетъ силою, такъ-что машина не иначе можетъ принять движеніе противоположное тому, которое мы взяли, какъ при условіи, что для прежняго перемѣщенія работа со-

противленій больше чѣмъ работа силъ, а мы предполагаемъ объ работы равными.

Итакъ чтобы машина оставалась въ равновѣсіи, необходимо, чтобы для одного изъ возможныхъ ея движеній работа силъ была равна работѣ со-противленій; притомъ если это условіе исполнено, то машина останется въ покоѣ.

Отсюда видно, что условія равновѣсія, цюкоя машины тѣ же самыя, что и условія ея равномернаго движенія. Результатъ этотъ отчасти можно было предвидѣть заранѣе. Будетъ ли тѣло въ покоѣ или въ равномерномъ движеніи, силы, которыя къ нему приложены, должны уравнивать другъ друга, тѣло должно повиноваться въ обоихъ случаяхъ только своей инерціи.

Изъ всего этого ясно видно, какую важную роль въ теоріи машинъ играютъ тѣ количества, которыя мы назвали работами силъ. Теперь, прежде чѣмъ прилагать теорію машинъ къ частнымъ случаямъ, постараемся дать понятіе о томъ, какъ опредѣлять эти работы въ важнѣйшихъ случаяхъ приложеній.

Силы дѣйствующія на машину вообще могутъ быть отнесены къ слѣдующимъ шести разрядамъ:

1) Движущія машину силы, — въ водяномъ колесѣ это будетъ давленіе воды на перья или на

ковши, въ часахъ это будетъ вѣсъ гири, въ паровой машинѣ это будетъ упругость пара и т. д.

2) Полезныя сопротивленія, преодолюваемыя при помощи машинъ; въ лѣсопильной машинѣ это будетъ сѣпленіе частицъ дерева, въ насосѣ это будетъ вѣсъ поднимаемой воды и т. д. Работа этихъ полезныхъ сопротивленій, и служить, — какъ мы видѣли, — основаніемъ для коммерческой оцѣнки машинъ.

3) Силы выражающія взаимодѣйствіе между частями машины и средою (водой или воздухомъ), въ которой онѣ движутся.

4) Силы производящія связь между отдѣльными тѣлами, въ составъ машины входящими.

5) Силы производящія связь между отдѣльными частицами, составляющими каждое тѣло входящее въ машину.

6) Вѣсъ самихъ частей машины.

Разберемъ послѣдовательно, какъ опредѣлить работы всѣхъ этихъ силъ, и для этого начнемъ съ послѣднихъ двухъ, такъ-какъ онѣ общи всѣмъ безъ исключенія частицамъ машины.

Силы, производящія связь между отдѣльными частицами твердыхъ тѣлъ, входящихъ въ составъ машины, и служатъ средствомъ къ преобразованію дѣйствія силъ въ машинѣ. Чтобы опредѣлить ихъ работу, нужно знать хотя нѣкоторые законы ихъ

дѣйствія. Знаніе это можетъ быть почерпнуто только изъ опыта. Разберемъ же простѣйшіе случаи, въ которыхъ эти силы приходятъ въ дѣйствіе, и постараемся вывести изъ нихъ главнѣйшія, самыя общія слѣдствія относительно частичныхъ или внутреннихъ силъ тѣла. Для этого возьмемъ длинный брусъ, напр. во 100 футовъ, неподвижно укрѣпленный однимъ, напримѣръ, верхнимъ концомъ, и къ нижнему концу приложимъ нѣкоторую небольшую силу, напр. привѣсимъ гирию небольшой величины; мы увидимъ, что подъ дѣйствіемъ силы равной вѣсу гири, брусъ вытянется на нѣкоторую небольшую длину, положимъ на одинъ дюймъ. Отнимемъ затѣмъ гирию; мы увидимъ, что брусъ начинаетъ укорачиваться и въ скоромъ времени затѣмъ принимаетъ свою первоначальную длину во 100 футовъ.

Еслибы на этомъ же брусѣ, прежде чѣмъ подвергать его опыту, мы сдѣлали мѣтки на разстояніяхъ 25, 50 и 75 футовъ отъ верхняго конца, то по положенію ихъ на вытянутомъ брусѣ могли бы судить о томъ, какъ вытягиваются различныя части бруса; во взятомъ нами примѣрѣ мы нашли бы, что всѣ части бруса вытягиваются одинаково, т.-е. при удлинненіи всего бруса на одинъ дюймъ, каждая его четверть становится на четверть дюйма длиннѣе; точно такъ же нашли бы, что каждая пя-

тая доля становится длиннѣе на  $\frac{1}{5}$  дюйма и т. д. Отсюда прямо выводимъ заключеніе, что при растягиваніи бруса какою ни есть силою, всѣ его частицы одинаково отодвигаются одна отъ другой, — ихъ взаимное разстояніе всюду увеличивается на одну и ту же длину.

Вотъ фактъ, — въ справедливости котораго можетъ убѣдиться каждый, кто имѣетъ достаточно терпѣнія, чтобы произвести физическій опытъ. Разберемъ же этотъ фактъ. Пусть *A* будетъ та частица бруса, къ которой приложена сила стремящаяся его растянуть; еслибы эта частица не была въ связи съ тѣми, которыя лежатъ выше ея, то все дѣйствіе силы ограничилось бы лишь тѣмъ, что она подвинула бы частицу *A* по своему направленію, и отдѣлила бы ее такимъ-образомъ отъ бруса; но теперь сила удаляетъ ее на нѣкоторое определенное, соразмѣрное самой силѣ разстояніе, послѣ чего частица *A* приходитъ въ покой. Это очевидно значить, что помѣръ-того, какъ внѣшняя сила, — въ нашемъ случаѣ всѣхъ гири, — удаляетъ частицу *A* отъ смежныхъ съ нею, въ тѣлѣ развивается усиліе стремящееся приблизить эту частицу къ смежнымъ, т.-е. развивается притягательная сила дѣйствующая на частицу *A*; существованіе этой силы вполне обнаруживается уже и тѣмъ, что ча-

стица *A* послѣ отнятія гири дѣйствительно приближается къ смежнымъ съ нею; изъ этого опыта можно заключить, что при дѣйстви на тѣло растягивающей силы, между его частицами возбуждается притяженіе, которое уравниваясь дѣйствіемъ вытягивающей силы, пока она приложена къ тѣлу, затѣмъ по отнятіи этой силы получаетъ полное свое дѣйствіе. Итакъ, изъ этого весьма простаго опыта мы заключаемъ, что въ тѣлѣ между его частицами существуютъ притягательныя силы, которыхъ дѣйствіе обнаруживается, когда подъ вліяніемъ нѣкоторой внѣшней силы частицы тѣла одна отъ другой удаляются. Перемѣнимъ теперь гирю, подъ вліяніемъ которой удлиннилось наше тѣло; возьмемъ напримѣръ гирю вдвое большую и привяжемъ ее къ концу нашего тѣла; если повторимъ опытъ, то увидимъ, что тѣло подъ вліяніемъ гири вдвое большей, вытянется также вдвое, т.-е. если прежде оно вытягивалось на одинъ дюймъ, то теперь оно сдѣлается на два дюйма длиннѣе (такъ-что увеличеніе разстоянія между частицами сдѣлается вдвое больше), и затѣмъ по отнятіи гири брусь снова приметъ свою длину.

Разсматривая этотъ опытъ и сличая его съ предъидущимъ, мы найдемъ, что нижняя частица тѣла снова находится въ покоѣ подъ вліяніемъ съ одной

стороны силы, вдвое бѣльшей чѣмъ прежде, и притяженія оказываемаго на нее сосѣдними частицами, отъ которыхъ она стоитъ теперь дальше, чѣмъ прежде. Это притяженіе сдѣдовательно сдѣлалось вдвое больше, когда увеличеніе разстоянія нижней частицы отъ смежныхъ сдѣлалось вдвое больше;— точно такимъ же образомъ найдемъ, что оно увеличится втрое, когда разстояніе частицы *A* отъ смежныхъ увеличится на длину втрое бѣльшую, и такъ далѣе. Такимъ-образомъ мы видимъ, что каждому разстоянію между частицами отвѣчаетъ своя особая величина притяженія послѣдней частицы къ тѣмъ, которыя слѣдуютъ за нею\*.

Если вмѣсто-того чтобы растягивать тѣло ги-рею, дѣйствующею на одинъ его конецъ, мы станемъ сжимать его, то получимъ совершенно тѣ же самые результаты, что и прежде; въ нихъ придется только перемѣнить слово растяженіе на сжатіе, и притяженіе на отталкиваніе; такимъ-образомъ мы увидимъ, что между частицами, входящими въ составъ тѣла, кромѣ притягательныхъ силъ, существуютъ еще силы отталкивательныя, которыя приходятъ въ дѣйствіе, когда частицы тѣла между собою сближаются; мы увидимъ так-

---

\* Это увеличеніе притяженія не идетъ безпредѣльно; оно наконецъ начинаетъ ослабввать и тѣло разрывается.

же, что съ уменьшеніемъ разстоянія между частицами, дѣйствіе отталкиваній становится сильнѣе-и-сильнѣе, такъ-что каждому опредѣленному разстоянію между частицами, соотвѣтствуетъ извѣстное, совершенно опредѣленное напряженіе отталкивательныхъ силъ.

Остановимся пока на полученныхъ уже нами результатахъ и постараемся привести ихъ въ порядокъ. Мы нашли, что между частицами, входящими въ составъ тѣла, дѣйствуютъ и притягательныя и отталкивательныя усилія, — но что они приходятъ въ дѣйствіе, только тогда, когда естественная длина тѣла измѣняется, а именно обнаруживается дѣйствіе притяженій, когда частицы увеличиваютъ свое взаимное разстояніе, и напротивъ замѣчается дѣйствіе отталкиваній, когда частицы сближаются. Постараемся же рассмотретьъ, что въ дѣйствительности происходитъ съ этими силами, когда разстояніе частицъ измѣняется.

Во-первыхъ, мы замѣтимъ, что притяженіе и отталкиваніе должны существовать и при естественной длинѣ тѣла; иначе мы не можемъ понять, откуда онѣ являются, когда тѣло вытягивается или сжимается; но при естественной длинѣ тѣла эти притяженія и отталкиванія взаимно уничтожаютъ другъ друга; когда же длина тѣла измѣняет-

ся, то равновѣсіе между этими силами уже нарушается, и именно при удаленіи частицъ притяженія между ними становятся больше отталкиваній, а при сближеніи отталкиванія становятся болѣе притяженій. Но съ другой стороны мы должны допустить, что величины и притяженій и отталкиваній между частицами ослабѣваютъ съ увеличеніемъ ихъ разстоянія, такъ, что становятся незамѣтными, когда частицы удаляются на чувствительное между собою разстояніе. Это доказывается тѣмъ фактомъ, что если сломать брусь какимъ ни есть образомъ, и затѣмъ совершенно плотно представить одно къ другому изломныя сѣченія, то притяженіе между частицами, лежащими справа и слѣва этого сѣченія, будетъ уже столь слабо, что малѣйшее усиліе достаточно для того, чтобы разъединить эти двѣ части тѣла. Итакъ и притяженіе и отталкиваніе ослабѣваютъ съ увеличеніемъ разстоянія между частицами, но при этомъ является перевѣсъ на сторонѣ притяженій, слѣд., мы должны допустить, что отталкиваніе съ увеличеніемъ разстоянія ослабѣваетъ быстрѣе, чѣмъ притяженіе; такъ — что вслѣдствіе быстрѣйшаго ослабленія отталкиваній понятнымъ образомъ является сначала перевѣсъ на сторонѣ притяженій, но перевѣсъ этотъ съ постепеннымъ увеличеніемъ разстоянія ослабѣ-

ваетъ, и наконецъ дѣлается совершенно незамѣтнымъ, потому — что и самое притяженіе становится нечувствительнымъ. Но если съ увеличеніемъ разстоянія притяженія и отталкиванія ослабѣваютъ и притомъ послѣднія быстрѣ первыхъ, то съ уменьшеніемъ разстоянія частицъ обѣ силы возрастаютъ и вритомъ отталкиванія возрастаютъ быстрѣ, чѣмъ притяженія, чѣмъ вполнѣ объясняется перевѣсъ отталкиваній, являющійся при сближеніи частицъ.

Общее заключеніе, которое изъ простаго опыта нами описаннаго можно вывести относительно законовъ дѣйствія внутреннихъ силъ, производящихъ связь между частицами тѣлъ, и потому называемыхъ частичными силами, будетъ состоять поэтому въ слѣдующемъ:

*Связь между частицами, входящими въ составъ тѣлъ, производится совокупнымъ дѣйствіемъ притягательныхъ и отталкивательныхъ силъ — между частицами вещества; напряженія этихъ силъ зависятъ отъ разстояній между частицами, и съ увеличеніемъ разстоянія уменьшаются, а съ уменьшеніемъ разстоянія увеличиваются, причемъ отталкиванія измѣняются вообще быстрѣ чѣмъ притяженія.*

Разсмотримъ далѣе нашъ опытъ и сличимъ его съ другими.

Выше мы уже сказали, что если подъ дѣйствіемъ какой ни есть гири, брусь во 100 футовъ длины вытягивается на одинъ дюймъ, то каждая его четверть вытягивается на четверть дюйма; если съ этого бруса снимемъ гирю, и оставивъ его придти въ прежнее положеніе, разрѣжемъ на четыре равныя части, а затѣмъ каждую часть отдѣльно начнемъ растягивать съ помощію той же самой гири, которая прежде была употреблена на растяженіе всего тѣла длиною во 100 футовъ, то мы увидимъ, что и теперь каждая отдѣльная часть тѣла, которой длина будетъ 25 футовъ, вытянется на  $\frac{1}{4}$  дюйма точно такъ же, какъ и въ томъ случаѣ, когда всѣ части тѣла составляли одно цѣлое. Отсюда видимъ, что частица оканчивающая собою каждую четверть бруса (а слѣд., и каждая частица тѣла), удаляется отъ смежныхъ точно такъ, какъ-будто ее книзу тянетъ та же самая гиря, которая привѣшена къ концу бруса. Замѣтивъ это, вспомнимъ, что на конецъ *A* дѣйствуетъ по направленію книзу вѣсъ гири привѣшенной къ брусу, и по направленію кверху притяженіе отъ слѣдующей за *A* частицы *B*; такъ-какъ подъ вліяніемъ этихъ силъ частица *A* находится въ равновѣсіи, то значить притяженіе *A* къ *B* будетъ равно вѣсу гири; но частицу *B*, какъ мы уже замѣтили, тянетъ

книзу такая же сила, которая тянетъ книзу и *A*; слѣд., на нее дѣйствуютъ книзу также сила равная вѣсу гири; но по направленію книзу на нее можетъ дѣйствовать только притяженіе *B* къ *A*; слѣд., это притяженіе будетъ также равно вѣсу гири; поэтому мы видимъ, что если двѣ частицы *A* и *B* притягиваютъ одна другую, то частица *A* притягивается къ *B* съ точно такою же силою, съ какою *B* притягивается къ *A*; совершенно тотъ же результатъ мы нашли бы для отталкивательныхъ силъ, рассматривая явленіе сжатія вмѣсто явленія растяженія, — такъ-что вообще мы видимъ, что притягательныя и отталкивательныя силы, производящія связь между частицами матеріи входящими въ составъ тѣлъ, подчинены слѣдующему весьма простому закону: если двѣ частицы матеріи дѣйствуютъ одна на другую, то ихъ дѣйствіе представляется или въ видѣ притягательной или въ видѣ отталкивательной силы, и притомъ если одна частица притягиваетъ другую съ усиліемъ равнымъ одному фунту, то и вторая притягиваетъ первую съ тѣмъ же самымъ усиліемъ; если же первая отталкиваетъ вторую съ извѣстнымъ усиліемъ, напримѣръ, равнымъ тремъ фунтамъ, то и вторая отталкиваетъ первую съ тѣмъ же самымъ усиліемъ, измѣряемымъ тремя фунтами.

Этотъ законъ во всей его общности первый разъ былъ высказанъ великимъ Ньютономъ, который въ своемъ безсмертномъ сочиненіи : *Математическія начала естественной философіи*, выразилъ его словами: *дѣйствіе равно и прямопротивоположно противодѣйствію*. Законъ этотъ распространяется на всѣ безъ исключенія явленія матеріальнаго міра; онъ вполнѣ подтверждается движеніемъ небесныхъ тѣлъ и весьма просто объясняетъ многія ежедневныя явленія ; мы не имѣемъ здѣсь возможности входить въ подробности въ эти объясненія потому, что это слишкомъ далеко отвлекло бы насъ отъ главнаго нашего предмета, машинъ, а потому ограничимся здѣсь лишь весьма важнымъ замѣчаніемъ относительно работы этихъ притяженій и отталкиваній, и выведемъ одинъ замѣчательный законъ относительно движенія тѣлъ, коихъ части связаны силами подчиненными началу противодѣйствія.

Возьмемъ двѣ частицы *A* и *B*, находящіяся на известномъ разстояніи и между собою взаимно притягивающіяся. Положимъ, что онѣ перемѣщаются такъ, что ихъ взаимное разстояніе не измѣняется. Для этого очевидно необходимо, чтобы частица *A* на столько же приблизилась къ *B*, на сколько *B* удалилась отъ *A*, т.-е. необходимо, чтобы путь пройденный частицею *A* по направленію разстоянія

частиць (или по направленію силъ притяженія дѣйствующихъ между ними) былъ одинаковъ съ путемъ проходимымъ по тому же самому направленію частицею *B*; замѣтивъ это вспомнимъ еще, что по закону противодѣйствія силы дѣйствующія между *A* и *B* будутъ или обѣ притяженіями, или обѣ отталкиваніями, а изъ этого уже можно заключить, что когда работа одной изъ этихъ силъ будетъ ускоряющая, то работа другой будетъ замедляющая; на самомъ дѣлѣ частицы сохраняютъ то же взаимное разстояніе; слѣд. если одна изъ нихъ приближается къ другой, повинувъ напр. притяженію къ ней, то эта другая удаляется отъ первой, слѣд. идетъ въ направленіи противоположномъ дѣйствующему притяженію, и слѣд. притяженіе стремится замедлить это движеніе второй частицы. Но кромѣ-того не трудно видѣть, что работы обоихъ притяженій или обоихъ отталкиваній будутъ равны. На самомъ дѣлѣ по закону противодѣйствія самыя силы притяженій или отталкиваній между собою равны; кромѣ-того и пути, проходимые по направленію этихъ силъ точками *A* и *B* тоже равны. А когда силы одинаковы, и пути проходимые по ихъ направленію точками равны, то ясно, что и работы этихъ силъ тоже равны, посему мы видимъ, что въ твердомъ тѣлѣ, каждой ускоряющей работѣ

внутреннихъ силъ, отвѣчаетъ совершенно ей равная замедляющая работа внутреннихъ силъ. Отсюда видно, что въ сосудѣ, который представляетъ отдѣльно движеніе каждаго твердаго тѣла отъ дѣйствія внутреннихъ силъ будетъ приливаться ровно столько воды, сколько ея будетъ выливаться; а слѣд. водостояніе въ этомъ сосудѣ останется то же, если мы вовсе не будемъ принимать въ расчетъ внутреннихъ силъ, дѣйствующихъ въ каждомъ отдѣльномъ твердомъ тѣлѣ.

Это замѣчательное обстоятельство весьма значительно упрощаетъ теорію машинъ.

Ибо какъ только форма твердыхъ частей машины остается неизмѣнною, то мы можемъ, разсматривая ея движеніе, считать какъ-будто силъ производящихъ связь между частицами каждаго отдѣльнаго твердаго тѣла нѣтъ вовсе; но коль-скоро форма твердыхъ частей измѣняется при движеніи машины, то это заключеніе уже не можетъ быть сдѣлано. Притомъ мы выше видѣли, что при растяженіи тѣлъ, при взаимномъ удаленіи ихъ частицъ изъ естественнаго равновѣснаго разстоянія, — между частицами развивается притяженіе; напротивъ, при сближеніи частицъ развивается отталкиваніе; вообще при измѣненіи формы частей машины, возбуждаемыя внутреннія силы дѣйствуютъ какъ со-

противленія. Ихъ работа по тому самому всегда безъ исключенія представляется въ видѣ объема воды, вытекающей изъ нашего сосуда, и никогда не представляется въ видѣ объема приливающегося въ сосудъ. Твердые части машины измѣняютъ свою форму главнымъ образомъ при ударахъ. Если онѣ упруги, т.-е. послѣ сжатія, произведеннаго ударомъ затѣмъ сами собою расширяются, то ускоряющая работа во время расширения вознаграждаетъ дѣйствіе замедляющей работы во время сжатія. Если же ударяющіяся тѣла неупруги, т.-е. сжавшись одинъ разъ остаются сжатыми, и не возвращаются къ прежней формѣ, то этого вознагражденія не существуетъ, и всякій ударъ между ними замедляетъ движеніе машины совершенно даромъ.

Что касается до гибкихъ тѣлъ входящихъ въ составъ машины, то очевидно при разсмотрѣніи ихъ движенія можно также не обращать вниманія на внутреннія силы дѣйствующія въ тѣхъ частяхъ ихъ, которыя при движеніи не измѣняютъ своей формы, какъ напр. въ частяхъ веревокъ или ремней, лежащихъ между шхивами, и передающихъ вращеніе отъ одного изъ нихъ другому. Но въ тѣхъ точкахъ, гдѣ ремень или веревка навертывается на шхивъ, гдѣ она изъ прямой принимаетъ кривую форму, тамъ, какъ убѣждаетъ опытъ,

нельзя принять, что работа внутреннихъ силъ есть нуль; для опредѣленія этой работы были произведены опыты знаменитымъ французскимъ физикомъ Кулономъ; оказалось, что эту работу можно опредѣлить, воображая, что вдоль сгибаемаго конца веревки или ремня, дѣйствуетъ нѣкоторая сила прямопротивоположная тому направленію, въ которомъ ремень движется; величина этой силы опредѣлена опытомъ для разныхъ сортовъ, для разныхъ толщинъ и разныхъ натяженій веревокъ. Ее называютъ обыкновенно жесткостью веревокъ. Оказалось изъ опыта, что жесткость веревки увеличивается съ увеличеніемъ ея толщины, съ увеличеніемъ ея натяженія, и что она уменьшается съ увеличеніемъ діаметра колеса, на который веревка наворачивается, а также и помѣръ-того, какъ веревка изнашивается; кромѣ-того найдено, что жесткость смоленыхъ веревокъ болѣе чѣмъ не смоленыхъ, что жесткость мокрыхъ веревокъ отъ 8 до 9 процентовъ больше, чѣмъ жесткость сухихъ веревокъ.

Въ прекрасномъ изданіи, начатомъ нашими инженерами Путей Сообщенія гг. Глуховымъ, Собко и покойнымъ Сулимою, подъ названіемъ *«Памятная книжка для инженеровъ и архитекторовъ 1854 г.»*, можно найти правила и таблицу, по которымъ легко опредѣлить жесткость каждой веревки во всѣхъ

встрѣчающихся въ практикѣ случаяхъ. См. первую часть (досель она одна и появилась), стран. 567—569. Жесткость, будучи всегда направлена въ сторону противную движению ремня, есть сила замедляющая движенье, и потому работа ея при общемъ разсмотрѣннн движенья машины всегда представится объемомъ воды выливающейся изъ нашего сосуда.

Сдѣлаемъ еще относительно дѣйствія частичныхъ силъ одно весьма важное замѣчаніе. Вообразимъ двѣ равныя частицы *A* и *B*, связанные между собою силами подчиненными началу противодѣйствія и положимъ, что эти частицы находятся въ настоящее мгновеніе въ покоѣ, на такомъ взаимномъ разстоянн, что между ними дѣйствуетъ притягательная сила. Частицы очевидно начнутъ между собою сближаться; притомъ такъ-какъ массы обѣихъ частицъ и силы ихъ взаимнаго притяженія равны, то обѣ частицы будутъ двигаться одинаково, и слѣд. середина прямой, ихъ различныя положенія соединяющей, очевидно будетъ оставаться на одномъ и томъ же мѣстѣ. Это сближеніе частицъ будетъ продолжаться до тѣхъ поръ, пока ихъ взаимное разстояніе не уменьшится до такой степени, что отталкиваніе отъ того происходящее не остановитъ частицъ, и онѣ не начнутъ вслѣдствіе этого отталкиванія удалять-

ся; въ силу начала противодѣйствія оба отталкиванія будутъ равны; массы частицъ приводимыхъ этими отталкиваніями въ движеніе тоже предполагаются равными; слѣд. частицы начнутъ удаляться также одинаково; а вслѣдствіе того опять середина прямой ихъ соединяющей будетъ оставаться неподвижною. Удаленіе частицъ будетъ опять происходить до того, пока развивающійся отъ ихъ удаленія избытокъ притяженія не остановитъ ихъ; а послѣ того, частицы опять начнутъ сближаться и это будетъ продолжаться безъ конца; подъ вліяніемъ этихъ силъ слѣд. частицы будутъ двигаться, но середина прямой ихъ соединяющей будетъ оставаться неподвижною; частицы кромѣ-того будутъ попеременно, то приближаться къ этой срединѣ, то удаляться отъ нея, но очевидно не выйдутъ изъ нѣкотораго пространства, заключающаго въ себѣ эту неподвижную средину; еслибы мы взяли три точки вмѣсто двухъ, то увидѣли бы также, что вслѣдствіе ихъ взаимодѣйствія они могутъ двигаться въ разныя стороны, принимать одна относительно другой различныя положенія,—но будетъ нѣкоторая геометрическая точка между ними лежащая, которая останется въ покоѣ, и частицы не выйдутъ изъ нѣкотораго объема, около этой точки описаннаго; точно то же замѣтимъ, если возь-

мемъ милльярды матеріальныхъ точекъ, взаимно другъ на друга дѣйствующихъ силами, подчиненными закону противодѣйствія. Всегда будетъ нѣкоторая точка, лежащая между взятыми матеріальными точками, которая будетъ оставаться въ покоѣ, и части тѣла составленнаго изъ бездны взятыхъ нами частицъ могутъ принимать различнѣйшія положенія одна относительно другой, но никогда не выйдутъ изъ нѣкотораго объема описаннаго около упомянутой нами неподвижной точки. Человѣческое тѣло очевидно можно разсматривать, какъ совокупность такимъ-образомъ соединенныхъ матеріальныхъ точекъ. Слѣд. внутреннія силы, которыя развиваются въ тѣлѣ нашемъ не въ состояніи его подвинуть; онѣ могутъ измѣнить только относительное положеніе частей нашего тѣла, — но чтобы его все передвинуть, чтобы его вывести изъ того объема, о которомъ мы говорили, необходима нѣкоторая посторонняя сила, дѣйствующая на тѣло извнѣ; въ чемъ состоитъ эта посторонняя сила, мы разсмотримъ на слѣдующей нашей лекціи, когда будемъ говорить о вредныхъ сопротивленіяхъ движенію машинъ; для насъ теперь достаточно было показать, что она необходимо нужна для передвиженія нашего тѣла, точно такъ же, какъ нужна нѣкоторая внѣшняя сила для передвиженія локомоти-

ва; дѣйствиємъ паровой машины въ самомъ локомотивѣ заключенной, онъ передвигаться впередъ не можетъ; колеса его могутъ вращаться, но впередъ локомотивъ долженъ подвигаться дѣйствиємъ внѣшней силы.

Точка, которая, лежа между частей тѣла, связанныхъ силами подчиненными началу противодѣйствія, остается неподвижною, — если была одинъ разъ въ покоѣ, называется обыкновенно *центромъ массы*, *центромъ инерціи* тѣла (она совпадаетъ съ другою замѣчательною точкою, которую называютъ центромъ тяжести тѣла, и о которой мы дадимъ понятіе на будущей лекціи); еслибы центръ массы тѣла вмѣсто покоя первоначально находился въ движеніи, то онъ и продолжалъ бы двигаться по прямой линіи непрерывно; дѣйствіе внутреннихъ силъ тѣла не могло бы измѣнить его прямолинейнаго и равномернаго движенія точно также, какъ теперь не можетъ измѣнить его состоянія покоя. Чтобы совершенно убѣдиться въ этомъ, нужно только вспомнить, что каждая сила дѣйствуетъ на движущееся тѣло точно также, какъ и на покоящееся; когда она дѣйствуетъ на движущееся тѣло, то она къ его прямолинейному и равномерному движенію прибавляетъ другое — совершенно одинаковое съ тѣмъ, какое сообщаетъ

покоющемуся тѣлу; но внутреннія силы покоящемуся центру массы никакого движенія не сообщаютъ: а слѣдовательно онѣ не прибавляютъ никакого движенія центру массы и въ томъ случаѣ, когда онѣ находится въ движеніи.

Возьмемъ всю вселенную: полнѣйшая аналогія побуждаетъ насъ думать, что всѣ силы дѣйствующія во вселенной подчинены началу противодѣйствія. Въ такомъ случаѣ центръ массы вселенной будетъ или въ покоѣ, или въ равномерномъ движеніи; но въ которомъ же изъ этихъ двухъ состояній онѣ находится? Вопросъ этотъ опытнымъ путемъ никогда разрѣшенъ быть не можетъ: ибо очевидно—всѣ явленія будутъ происходить одинаково, какое бы изъ этихъ двухъ состояній мы ни предположили въ центрѣ массы вселенной.

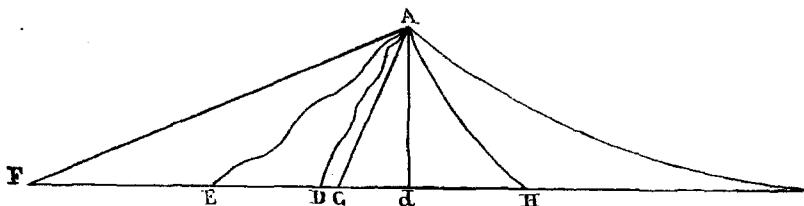
---

## ЛЕКЦІЯ XI.

### Работа вѣса и другихъ силъ дѣйствующихъ на машину.

Перейдемъ теперь къ опредѣленію работы вѣса частей машины и кстати рассмотримъ простѣйшія движенія, совершающіяся исключительно подъ дѣйствіемъ вѣса. Чтобы опредѣлить вообще работу вѣса тѣла, замѣтимъ, что всякая его частица отъ дѣйствія своего вѣса стремится опуститься по вертикальной линіи; слѣдовательно вѣсъ ускоряетъ движеніе частицы, когда она опускается и напротивъ, замедляетъ его, когда она поднимается. Чтобы получить его работу, возьмемъ одну частицу, которая, положимъ, движется по какой угодно линіи, напр. по  $AD$  (черт. 57); работа вѣса получится чрезъ перемноженіе вѣса частицы и проэкции пройденнаго ею пути на направленіе вѣса, т.-е. на вертикальную линію; пусть  $Ad$  будетъ эта линія; если изъ  $D$  опу-

стимъ на  $Ad$  перпендикуляръ  $Dd$ , то  $Ad$  будетъ очевидно проэція пройденнаго частицею пути на направленіе силы; а слѣдовательно, если умножимъ вѣсъ частицы на  $Ad$ , то и получимъ работу вѣса нашей частицы при спускѣ ея по линіи  $AD$ ; замѣтимъ, что еслибы мы взяли какую ни есть другую изъ линій  $AF$ ,  $AE$ ,  $AG$ ,  $AH$ , выходящую изъ точки  $A$  и оканчивающуюся на томъ же го-



Черт. 57.

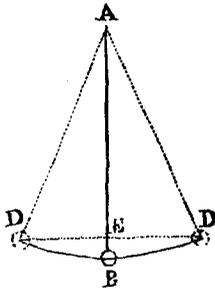
ризонтѣ  $Dd$ , то работа вѣса частицы при спускѣ по каждой изъ этихъ линій была бы та же, что и при ея спускѣ по линіи  $AD$ , — такъ-что работа вѣса частицы переходящей съ одного горизонта на другой не зависитъ отъ формы пути, проходимаго частицею, а только отъ разстоянія того горизонта, на которомъ частица находилась въ началѣ движенія, и того, котораго достигла въ концѣ движенія. Изъ этого весьма важнаго замѣчанія можно вывести слѣдующее любопытное заключеніе:

*По какой бы линіи ни падало тѣло съ извѣст-*

ной высоты, подъ дѣйствіемъ одного своего вѣса, оно всегда приобретаетъ въ концѣ паденія ту же самую скорость, которую получаетъ при вертикальномъ паденіи съ той же самой высоты.

На-самомъ-дѣлѣ, если тѣло находится подъ вліяніемъ только своего вѣса, то его скорость будетъ зависѣть только отъ работы этого вѣса, а какъ эта работа не зависитъ отъ формы пути проходимаго тѣломъ, а только отъ высоты паденія, то и скорость приобретаемая падающимъ тѣломъ въ концѣ своего пути не будетъ нисколько зависѣть отъ этой формы, а слѣд. и проч.

Поэтому если мы отклонимъ маятникъ, который представляемъ себѣ въ видѣ тяжелой точки, повѣшенной на невѣсомую нить отъ его вертикальнаго направленія изъ  $AB$  въ  $AD$ , то онъ пришедши на-



Черт. 58.

задъ въ точку  $B$  получить ту же самую скорость, которую приобрѣло бы тяжелое тѣло падая съ высоты  $EB$ ; эту высоту получимъ, опустивъ изъ  $D$  перпендикуляръ  $DE$  на вертикальную линію  $AB$ ; еслибы мы хотѣли узнать, до какой

высоты дойдетъ маятникъ по другую сторону отвѣса  $AB$ , продолжая двигаться изъ точки  $B$  вслѣд-

ствіе инерціи, то вопросъ рѣшился бы очень просто на основаніи слѣдующихъ соображеній: маятникъ, находясь въ  $D$ , налѣво отъ  $AB$  не имѣетъ скорости вовсе; если онъ подыметъ до точки  $D$  лежащей справа отъ  $AB$  и затѣмъ начнетъ опускаться, то и въ этой послѣдней точкѣ его скорость будетъ нулемъ; слѣдовательно рассматривая цѣлое движеніе отъ  $D$  до  $D$  найдемъ, что маятникъ не пріобрѣтаетъ во время этого движенія никакой скорости, — или пріобрѣтаетъ скорость равную нулю; слѣдовательно и работа силъ, подъ вліяніемъ которыхъ онъ движется по дугѣ  $DBD$ , есть нуль, а какъ онъ движется подъ вліяніемъ только своего вѣса, то работа вѣса во время движенія  $DBD$  будетъ нуль, а для этого объ точки  $D$  должны находиться на одномъ уровнѣ. Поэтому, маятникъ отклоненный отъ отвѣса въ одну сторону на извѣстный уголъ, при обратномъ своемъ движеніи отклонится по другую сторону отвѣса на точно такой же уголъ. Подобныя разсужденія примѣняются вообще къ тѣлу, которое *находясь подъ дѣйствіемъ только своего вѣса* движется по какому ни есть пути имѣющему двѣ вѣтви, — одну опускающуюся, а другую поднимающуюся; на этой послѣдней вѣтви тѣло подыметъ до той же высоты, съ какой оно спусти-

лось по опускающейся вѣтви. Если путь, по которому идетъ тѣло, имѣетъ только спускающуюся вѣтвь, идущую затѣмъ горизонтально (какъ на примѣръ горы, съ которыхъ катаются), то тѣло, приходя къ концу спуска, приобретаетъ такую же скорость, какую приобрѣло бы еслибъ двигалось съ той же высоты вертикально, и съ этою скоростію должно двигаться по горизонтальному направленію безъ конца. Опытъ, какъ извѣстно, не оправдываетъ всѣхъ этихъ слѣдствій, но разница между выводами нашихъ разсужденій и результатами опыта вполнѣ объясняется тѣмъ, что мы принимали въ соображеніе только дѣйствіе вѣса тѣла, а между тѣмъ на его движеніе оказываютъ вліяніе многія другія причины, какъ-то: сопротивленіе воздуха, треніе и т. п., которыя всѣ замедляютъ движеніе тѣла, и слѣд. не уничтожаютъ взаимно своихъ дѣйствій, но усиливаютъ ихъ.

Такимъ-образомъ опредѣляется работа вѣса одной частицы. Если имѣемъ цѣлое тѣло, то чтобы опредѣлить работу его вѣса, нужно бы собственно представить его себѣ раздѣленнымъ на мельчайшія частицы, вычислить по-прежнему работу вѣса каждой; сложить между собою работы вѣса всѣхъ опускающихся частицъ и отнять отъ суммы работу вѣса всѣхъ частицъ, которыя поднимаются, или наоборотъ, смо-

тря по тому, которая сумма будетъ больше; полученный остатокъ и изобразить работу вѣса, которая будетъ ускоряющею или замедляющею работою, смотря по тому, будетъ ли больше работа вѣса частицъ опускающихся или поднимающихся. Подобное раздѣленіе тѣла на весьма мелкія частицы, было бы крайне затруднительно, еслибы его приходилось дѣлать въ каждомъ частномъ случаѣ,—а потому искали общихъ правилъ, посредствомъ которыхъ можно было бы опредѣлять работу вѣса безъ особаго затрудненія въ каждомъ частномъ случаѣ.

Возьмемъ сначала тѣло, всѣ частицы котораго движутся одинаково; такъ-какъ всѣ частицы при этомъ спускаются съ одной и той же высоты (или поднимаются на одну и ту же высоту), то работа вѣса всего тѣла будетъ очевидно равна его полному вѣсу, умноженному на высоту, съ которой спустилась (или на которую поднялась) одна какая угодно изъ его точекъ, такъ-что въ этомъ случаѣ работа вѣса вычисляется безъ труда. Если же не всѣ частицы тѣла движутся одинаково, а напримѣръ однѣ поднимаются, а другія опускаются, то можно выбрать такую точку, и придать ей такое движеніе, что вообразивъ вѣсъ всего тѣла въ ней сосредоточеннымъ, найдемъ, что работа этого вѣса равна дѣйствительной работѣ вѣса нашего дви-

жущагося тѣла. Весьма нетрудныя математическія соображенія показываютъ, что въ каждомъ твердомъ тѣлѣ есть точка, занимающая извѣстное опредѣленное мѣсто въ тѣлѣ и владѣющая тѣмъ свойствомъ, что для полученія работы вѣса тѣла при какомъ угодно его движеніи, нужно только слѣдить за движеніемъ этой точки, — полагая, что она съ тѣломъ неизмѣняемо соединена; взявши вѣсъ всего тѣла и помноживъ на высоту, съ которой эта точка опускается (или на которую поднимается) и получимъ работу вѣса всего тѣла.

Такая точка называется *центромъ тяжести*; ея положеніе во многихъ случаяхъ опредѣляется очень легко; центръ тяжести однороднаго шара лежитъ въ его центрѣ; центръ тяжести однороднаго круга прямого прута лежитъ по его серединѣ, и т. д. Мы не можемъ входить здѣсь въ соображенія, относящіяся къ опредѣленію этой замѣчательной точки, и укажемъ только на нѣкоторыя весьма важныя ея свойства. Нетрудно видѣть, напримѣръ, что если мы сдѣлаемъ центръ тяжести тѣла неподвижнымъ, то все тѣло дѣйствіемъ одного своего вѣса не можетъ быть выведено изъ покоя. На-самомъ-дѣлѣ работу вѣса тѣла всегда можно опредѣлять, предполагая, что этотъ вѣсъ сосредоточенъ въ центрѣ тяжести; но центръ тяжести не-

подвиженъ; слѣдовательно, работа вѣса тѣла будетъ нулемъ, какое бы передвиженіе мы въ тѣлѣ ни вообразили, т.-е. работа вѣса опускающихся частицъ, который будетъ въ этомъ случаѣ играть роль ускоряющей силы, будетъ равна работѣ вѣса поднимающихся частицъ, который будетъ играть роль замедляющей силы, такъ-что здѣсь работа сопротивленій будетъ равна работѣ силъ и слѣд. тѣло останется въ покоѣ.

Другое замѣчательное свойство центра тяжести состоитъ въ томъ, что если тѣло расположено такъ, что центръ его тяжести лежитъ на одной отвѣсной линіи съ точкою опоры, то тѣло подѣ дѣйствіемъ одного своего вѣса останется въ покоѣ; на самомъ-дѣлѣ, если-бы тѣло вышло изъ покоя подѣ дѣйствіемъ вѣса, то центръ тяжести его пошелъ бы по дугѣ круга или вправо, или влѣво отъ прямой, соединяющей его съ точкою опоры; въ обоихъ случаяхъ направленіе его движенія было бы горизонтальное, и слѣд. явившаяся при этомъ передвиженіи работа вѣса была бы нулемъ, а потому опять тѣло останется въ покоѣ. Ясно, съ другой стороны, что только при этомъ условіи тѣло имѣющее одну неподвижную точку можетъ быть въ покоѣ подѣ дѣйствіемъ одного своего вѣса; ибо выходя изъ всякаго другаго положенія, центръ

тяжести можетъ или подниматься, или опускаться; такъ-что будутъ возможныя для тѣла движенія, при которыхъ работа его вѣса не будетъ нулемъ, а слѣд. тѣло не останется въ покой; его вѣсъ сообщитъ ему движеніе, при которомъ разумѣется центръ тяжести опустится. Этимъ замѣчаніемъ можно пользоваться, чтобы опредѣлять положеніе центра тяжести тѣлъ посредствомъ опыта; для этого стоить только сдѣлать въ тѣлѣ одну неподвижную точку и предоставить его затѣмъ самому себѣ; тѣло подъ дѣйствіемъ своего вѣса придетъ въ покой, и по предъидущему центръ тяжести тѣла будетъ находиться на одной отвѣсной прямой съ точкою опоры; если замѣтимъ, какъ проходитъ черезъ тѣло эта отвѣсная прямая, и затѣмъ снова повѣсимъ тѣло, сдѣлавъ неподвижною какую-нибудь другую точку, то получимъ, что центръ тяжести будетъ находиться снова на отвѣсной прямой, проходящей чрезъ точку привѣса; замѣтивши какъ проходитъ теперь эта прямая черезъ тѣло, мы, очевидно, на пересѣченіи двухъ только-что упомянутыхъ прямыхъ, найдемъ центръ тяжести нашего тѣла.

Изъ всего сказаннаго нами слѣдуетъ, что вѣсъ тѣла будетъ ускоряющая или движущая сила, когда центръ тяжести опускается, и напротивъ, бу-

дѣтъ замедляющая сила или сопротивленіе, когда центръ тяжести подымается. Работа вѣса въ первомъ случаѣ получится, если умножимъ вѣсъ тѣла на высоту, съ которой опустился центръ тяжести; во второмъ случаѣ нужно помножить вѣсъ тѣла на высоту, на которую поднялся центръ тяжести. Если центръ тяжести не поднялся и не опустился, то вѣсъ тѣла не произвелъ никакой работы, ни замедляющей, ни ускоряющей. Если напримѣръ валъ вращается около оси, проходящей черезъ его центръ тяжести, то вѣсъ вала не производитъ никакой работы; если тѣло движется по горизонтальной плоскости, такъ-что центръ тяжести не подымается и не опускается, то вѣсъ тѣла не производитъ никакой работы. Если центръ тяжести тѣла попеременно то опускается, то подымается, и притомъ въ концѣ движенія достигаетъ той же высоты, какую имѣлъ въ началѣ, то вѣсъ тѣла производитъ при опусканіи центра ту же работу, которую поглощаетъ при подъемѣ; слѣдовательно, если разсматриваемъ только состояніе тѣла въ началѣ и въ концѣ движенія, то придемъ очевидно къ тому же результату, какъ если предположимъ сразу, что вѣсъ тѣла не работалъ во время этого движенія.

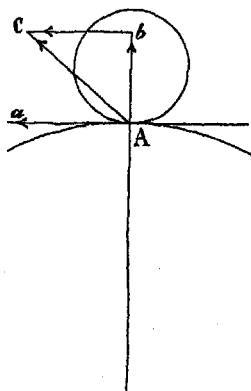
Вотъ основанія, на которыхъ безъ труда можно

вычислить работу вѣса тѣлъ не измѣняющихъ при движеніи своей формы; но какъ вычислить работу вѣса тѣлъ, которыя въ то же время, какъ движутся, измѣняютъ свою форму; напимѣръ, какъ опредѣлить работу вѣса цѣлой машины, части которой при движеніи измѣняютъ свое взаимное расположеніе?

Для этого замѣтимъ, что хотя машина и измѣняетъ свою форму при движеніи, но очевидно мы можемъ вообразить себѣ ее, какъ-бы застывшею въ какомъ угодно положеніи, и найти для этого положенія ея центръ тяжести; найдемъ же его для начальнаго и для конечнаго положенія машины; тогда работа вѣса всей машины получится, если помножимъ ея вѣсъ на взятое по отвѣсу разстояніе между начальнымъ и конечнымъ положеніями ея центра тяжести. Справедливость этого положенія чувствуется каждымъ; его легко бы доказать совершенно строго, съ помощію простыхъ математическихъ соображеній, но какъ это заставило бы насъ отступить отъ принятой нами методы, то мы и примемъ это положеніе безъ дальнѣйшаго его доказательства.

Кромѣ тѣхъ внутреннихъ силъ, о которыхъ мы говорили на предъидущей лекціи, и которыя производятъ связь между матеріальными точками, составляющими каждое отдѣльное твердое тѣло, въ ма-

шинѣ дѣйствуютъ еще силы, производящія связь между твердыми тѣлами въ составѣ ея входящими; эти послѣднія частичныя силы обнаруживаются только въ точкахъ прикосновенія твердыхъ частей машины; ибо, какъ замѣчено выше, вообще дѣйствіе внутреннихъ силъ становится незамѣтнымъ, какъ-только дѣлается чувствительнымъ разстояніе между частицами. Представимъ себѣ два тѣла взаимно прикасающіяся въ точкѣ *A* (черт. 59); пусть



Черт. 67.

кромѣ-того для бѣльшей простоты одно изъ нихъ, напр. нижнее, неподвижно. На тѣло *b* могутъ дѣйствовать внѣшнія силы, которыя или нажимаютъ его къ опорѣ, или удаляютъ отъ нея. Въ послѣднемъ случаѣ очевидно, опора не представить удаленію тѣла *b* никакого сопротивленія (кромѣ такъ-на-

зываемаго *прилипанія*, которое въ машинахъ довольно слабо и можетъ быть оставлено совершенно въ сторонѣ); въ первомъ же случаѣ оба тѣла сожмутся около точки *A*, ихъ частицы будутъ одна къ другой приближаться до-тѣхъ-поръ, пока взаимное отталкиваніе между тѣлами не усилится и не дойдетъ до того, что въ состояніи будетъ уравновѣ-

сигь нажимающее дѣйствіе усилій, приложенныхъ къ тѣлу  $b$ . Тогда тѣло  $b$  будетъ въ равновѣсіи на опорѣ и не будетъ стремиться во внутрь ея проникнуть.

Оба тѣла очевидно будутъ имѣть при этомъ нѣкоторую общую поверхность прикосновенія, но мы для бѣльшей простоты будемъ разсуждать какъ-будто они прикасаются въ одной только точкѣ. Въ этой точкѣ дѣйствіе неподвижнаго тѣла на подвижное  $b$  выразится вообще нѣкоторою силою, которая, по предъидущему, не допуская тѣло  $b$  проникнуть во внутрь опоры, будетъ отталкивательная и, слѣдовательно, ея направленіе  $AC$  (черт. 59) будетъ лежать ближе къ идущей во внѣ неподвижнаго тѣла линіи  $Ab$ , проведенной перпендикулярно къ плоскости касанія тѣлъ, чѣмъ къ ея продолженію, идущему во внутрь неподвижнаго тѣла. Но какъ же идетъ линія  $AC$ ? Вопросъ можетъ быть разрѣшенъ только опытнымъ путемъ.

Мы знаемъ, что если тяжелое тѣло положимъ на горизонтальную плоскость (конечно такъ, чтобы центръ его тяжести лежалъ прямо надъ точкою опоры) и если не станемъ тянуть тѣло ни вправо ни влѣво, то тѣло останется въ покоѣ. Въ этомъ случаѣ совершенно ясно, что отталкиваніе  $AC$  направлено по  $Ab$ ; на самомъ дѣлѣ, тѣло, какъ показываетъ опытъ, остается въ покоѣ; для этого нужно, чтобы силы на него дѣйствующія взаимно

уничтожались; но на тѣло дѣйствуютъ двѣ силы: 1) его вѣсъ идущій по вертикальному направлению  $bA$ ; 2) отталкиваніе отъ опоры; чтобы дѣйствіемъ этой послѣдней силы могло быть уничтожено дѣйствіе вѣса, необходимо, чтобы она была ему прямопротивоположна и равна; слѣдовательно, въ этомъ случаѣ давленіе опорнаго тѣла на  $b$  (а слѣдовательно по закону противодѣйствія и давленіе, производимое тѣломъ  $b$  на опору), равно вѣсу тѣла  $b$  и направлено по перпендикуляру къ плоскости касанія.

Но всегда ли это такъ будетъ? Опытъ показываетъ, что нѣтъ. На самомъ дѣлѣ мы знаемъ, что не всякою силою, идущею по горизонтальному направленію, можно подвинуть тѣло лежащее на горизонтальной плоскости; всякій знаетъ, что если усиліе употребляемое для передвиженія будетъ меньше нѣкоторой опредѣленной величины, то тѣло не подвинется. Это показываетъ, что дѣйствіемъ опорной поверхности можетъ быть уничтожена не только сила къ ней перпендикулярная (въ нашемъ случаѣ вѣсъ тѣла), но и всякая горизонтальная сила, величина которой не превосходитъ извѣстнаго предѣла. Слѣдовательно, дѣйствіе опорной поверхности состоитъ въ разбираемомъ нами случаѣ изъ двухъ силъ: одной  $Ab$  идущей вертикально вверхъ и

равной вѣсу тѣла, и другой горизонтальной  $Aa$ , могущей имѣть разныя величины, смотря по напряженію внѣшняго подвигающаго усилія, но во всякомъ случаѣ не превосходящей нѣкотораго предѣла, называемаго обыкновенно *трениемъ тѣла покоящихся*.

Если мы хотимъ, нашедши горизонтальную и вертикальную слагающія всего отталкиванія, знать его величину и направленіе, то для этого должно поступить по извѣстному правилу, объясненному въ VIII лекціи; именно—должно, отложивъ по вертикальному направленію линію  $Ab$  равную вѣсу тѣла, черезъ ея конецъ  $b$  провести прямую  $bC$ , равную силѣ  $Aa$ , и затѣмъ точку  $A$  соединить съ концомъ этой прямой. Если на тѣло  $b$ , кромѣ его вѣса, дѣйствуютъ еще и другія усилія, то ихъ вообще можно разложить на усилія дѣйствующія перпендикулярно и другія дѣйствующія параллельно плоскости прикосновенія. Тогда увидимъ, рассуждая совершенно подобнымъ же образомъ какъ прежде, что покамѣсть одно тѣло, опираясь на другое неподвижное, остается въ покоѣ, то вообще усиліе выражающее дѣйствіе неподвижнаго тѣла на подвижное (а слѣд. по закону противодѣйствія и наоборотъ) можно себѣ представить состоящимъ изъ двухъ силъ: изъ нихъ одна идетъ перпендикулярно

къ плоскости касанія и равна суммѣ всѣхъ усилій, дѣйствиємъ которыхъ тѣла сближаются безъ суммы усилій, дѣйствиємъ которыхъ тѣла удаляются: она называется *давленіемъ* между тѣлами; другая же идетъ параллельно этой плоскости, и равна силѣ, которая можетъ собою замѣнить всѣ усилія стремящіяся подвинуть одно тѣло по поверхности другаго, такъ-что та часть взаимодѣйствія между тѣлами, которая идетъ параллельно плоскости касанія, можетъ во время покоя тѣлъ имѣть очень различныя величины, которыя будутъ ограничены очевидно лишь однимъ условіемъ: эта часть взаимодѣйствія не можетъ быть больше наименьшей силы, которая, дѣйствуя параллельно плоскости касанія, заставляетъ одно тѣло двигаться по другому. Въ различныхъ случаяхъ практики важно знать эту наименьшую величину силы достаточной для того, чтобы привести одно тѣло въ движеніе по другому, или что то же, важно знать наибольшую величину параллельнаго плоскости касанія взаимодѣйствія между опирающимися тѣлами. Часть эта называется, какъ мы сказали, обыкновенно *треніемъ тѣлъ покоящихся*, и произведены были опыты съ цѣлю опредѣлить величину этого тренія, когда оно препятствуетъ тѣламъ скользить другъ по другу; они привели къ слѣдующимъ результатамъ:

I. Величина этого тренія возрастаетъ въ той же мѣрѣ, какъ увеличивается давленіе, и притомъ составляетъ на каждый пудъ давленія:

1) Для дуба по дубу, при чемъ поверхности смочены водою и волокна перпендикулярны другъ къ другу — 0,71 пуда или  $28\frac{1}{2}$  фунтовъ.

2) Для дуба по дубу безъ смазки и съ волокнами взаимно-параллельными — 0,62 пуда или 25 фунтовъ.

3) Для дуба по дубу съ перекрестными волокнами и безъ смазки — 0,54 пуда или 22 фунта.

4) Для дуба по дубу безъ смазки, причемъ одинъ брусъ идетъ торцомъ по другому — 0,43 пуда или 17 фунтовъ.

5) Для дуба по дубу, причемъ они натерты сухимъ мыломъ и волокна параллельны — 0,44 пуда или  $17\frac{1}{2}$  фунтовъ.

6) Пеньковая веревка по дубу — 0,80 пуда или 32 фунта.

7) Жельзо по дубу безъ смазки — 0,62 пуда или 25 фунтовъ.

8) Жельзо по дубу со смазкою саломъ, — 0,11 пуда или  $4\frac{1}{2}$  фунта.

9) Чугунъ по чугуну безъ смазки — 0,16 пуда или  $6\frac{1}{2}$  фунтовъ.

10) Жельзо по жельзу — 0,19 пуда или  $7\frac{1}{2}$  фунтовъ.

Въ «Памятной книжкѣ», о которой мы говорили на прошлой лекціи, находятся болѣе подробныя таблицы подобныхъ чисель (стр. 541 — 547).

II. Величина тренія не зависитъ отъ величины поверхности прикосновенія, — по-крайней-мѣрѣ въ случаѣ большихъ давленій, которыя обыкновенно встрѣчаются въ машинахъ. Этотъ послѣдній законъ кажется на первый разъ довольно страннымъ, но легко дать себѣ въ немъ совершенно ясный отчетъ; если какое-нибудь довольно значительное давленіе сосредоточено на небольшой поверхности, то число возбуждаемыхъ частичныхъ силъ не велико, но зато давленіе, а потому на основаніи перваго закона и треніе велико въ каждой точкѣ. Но если то же самое давленіе распространено на значительную поверхность, то число возбуждаемыхъ частичныхъ силъ велико, зато каждая изъ нихъ имѣетъ небольшое напряженіе, потому-что давленіе въ каждой точкѣ отдѣльно будетъ очевидно въ этомъ случаѣ во столько же разъ слабѣе, чѣмъ въ предъидущемъ, во сколько разъ поверхность тренія будетъ больше.

Какъ-только сила дѣйствующая на подвижное тѣло параллельно поверхности прикосновенія, становится

больше того предѣла, который названъ трениемъ покоющихся тѣлъ, то подвижное тѣло начинаетъ скользить по неподвижному, но при этомъ двигается точно такъ, какъ-будто на него дѣйствуетъ въ точкѣ прикосновенія нѣкоторое сопротивление движению, которое однако меньше, чѣмъ тогда, когда тѣло находится въ покой; именно по опытамъ найдено, напр., что для дуба скользящаго по дубу безъ смазки и съ перекрестными волокнами сопротивление движению, происходящее отъ присутствія опорнаго тѣла составляетъ на каждый пудъ давленія 0,34 пуда или  $13\frac{1}{2}$  фунтовъ; сопротивление, происходящее въ тѣхъ же обстоятельствахъ, но при относительномъ покой опирающихся тѣлъ составляетъ, какъ мы видѣли, 0,54 пуда или  $21\frac{1}{2}$  фунтъ; т.-е. сопротивление во время движения на 8 фунтовъ больше, чѣмъ сопротивление, являющееся при его началѣ. Въ той же «Памятной книжкѣ», на которую мы указывали, можно найти числа, выражающія величину рассматриваемаго сопротивления для случаевъ всего чаще встрѣчающихся на практикѣ; оно называется скользящимъ трениемъ во время движения.

Оба закона, выше нами приведенные, относительно трения при началѣ движения, совершенно спра-

ведливы также и относительно трения во время движения, — т.-е.

1) Трение возрастаетъ въ той же мѣрѣ, какъ давленіе между опорными поверхностями.

2) Трение не зависитъ отъ величины опорной поверхности.

Кромѣ-того къ симъ двумъ законамъ присоединяется еще третій, а именно:

3) Трение не зависитъ отъ скорости движения, т.-е. какъ бы скоро или медленно ни двигалось тѣло, всегда безъ исключенія опора представляетъ его движению одинаковое сопротивленіе; всегда безъ исключенія нужно употреблять одну и ту же силу, для того чтобы поддерживать равномерное движеніе тѣла.

На основаніи-этого, вообще легко опредѣлить величину трения между взаимно прикасающимися тѣлами, когда извѣстны силы давящія одно тѣло къ другому, и когда они скользятъ другъ по другу, т.-е. когда точка прикосновенія, оставаясь одна и та же на одномъ тѣлѣ, перемѣняется на другомъ. Чтобы получить работу трения въ этомъ же случаѣ, нужно только умножить величину трения на путь, проходимый точкою прикосновенія, или, какъ говорятъ для бѣльшей краткости, нужно умножить величину скользящаго трения на его путь; трение всегда представляетъ собою сопротивленіе движению; его работа

потому самому будетъ всегда замедляющею работой, и слѣд. при изображеніи движенія машины посредствомъ сосуда съ водою, эта работа всегда представится въ видѣ объема воды, вытекающей изъ сосуда, и тѣмъ самымъ непрестанно понижающей стояніе уровня.

Если тѣло прикасаясь къ другому по немъ катится, т.-е. если тѣло движется такъ, что точки прикосновенія въ одно время проходятъ одинаковыя пути на обоихъ тѣлахъ, то замѣчается также нѣкоторое сопротивленіе движенію, которое однако гораздо меньше, чѣмъ сопротивленіе при скользящемъ движеніи; такъ находимъ, что для поддержанія движенія желѣзнаго катка въ 1 футъ радіусомъ по желѣзнымъ гладкимъ горизонтальнымъ рельсамъ, нужна горизонтальная сила, которая въ случаѣ, если она идетъ черезъ центръ катка, то составляетъ на каждый пудъ давленія только 0,0044 пуда или менѣе  $\frac{1}{5}$  доли фунта; между-тѣмъ какъ при скользящемъ движеніи, сопротивленіе производимое присутствіемъ опорной поверхности въ этомъ же случаѣ на каждый пудъ давленія составляетъ 0,13 пуда или  $5\frac{1}{4}$  фунтовъ, т.-е. въ 26 разъ больше \*.

Столь значительную разницу между катящимся

---

\* Притомъ найдено, что чѣмъ больше радіусъ катка, тѣмъ величина катящагося тренія меньше.

и скользящимъ треніемъ обыкновенно стараются объяснить себѣ, замѣчая, что прикасающіяся тѣла, какъ бы хорошо отполированы ни были, всегда безъ исключенія представляютъ нѣкоторыя неровности, которыя можно себѣ представить въ видѣ слѣдующихъ другъ за другомъ впадинъ и выступовъ. Но очевидно, что при скользящемъ движеніи, для его возможности необходимо, чтобы движущееся тѣло или сломало выступы, или скользило по нимъ; въ дѣйствительности происходитъ безъ-сомнѣнія и то и другое. Понятно, что первое изъ этихъ двухъ обстоятельствъ (подтверждаемое тѣмъ, что трущаяся поверхности сглаживаются и отполировываются), производитъ весьма сильное замедляющее дѣйствіе; что же касается до втораго, то ясно также, что при скольженіи тѣла по несплошной опорной поверхности, происходятъ удары, на которые, какъ уже замѣчено было выше, тратится часть работы, употребляемой на сообщеніе тѣлу дѣйствительной его скорости; слѣдовательно, и второе обстоятельство также замедляетъ движеніе. Эти соображенія даютъ между прочимъ нѣкоторое объясненіе того, почему при началѣ движенія сопротивленіе отъ тренія сильнѣе, чѣмъ впоследствии, когда движеніе уже началось; при началѣ, чтобы вывести тѣло изъ покоя, нужно или сломать совер-

шенно зубцы, между которыхъ входятъ его выступы, или поднять движущееся тѣло на всю высоту зубцовъ; но когда движеніе уже началось, то тѣло не успѣваетъ упасть во время прохода между зубцами на всю ихъ высоту, и слѣд. поднимать его нужно на высоту мѣньшую. Изъ этого казалось бы на первый взглядъ должно вытекать слѣдствіе, что чѣмъ скорѣе движется тѣло, тѣмъ меньше должно быть сопротивленіе отъ тренія; но легко показать, что вмѣстѣ съ ослабленіемъ одной изъ причинъ, производящихъ треніе, усиливается другая. Именно, вмѣстѣ съ ускореніемъ движенія тѣла конечно уменьшается та высота, на которую оно падаетъ проходя по неподпертой между зубцами части, и съ которой слѣдовательно приходится его поднимать, но вмѣстѣ съ тѣмъ и въ той же мѣрѣ возрастаетъ сила удара подвижнаго тѣла о зубцы неподвижнаго, такъ-что понятно по-крайней-мѣрѣ то, что величина тренія *можетъ* быть одинакова для различныхъ скоростей движенія, какъ то подтверждаютъ произведенные опыты.

При катящемся движеніи, движущая сила не должна ни ломать зубцовъ, ни поднимать тѣла, столь значительно, какъ при движеніи скользящемъ; здѣсь подъемъ нуженъ будетъ только тогда, когда на примѣръ малая впадина приходится противъ

большаго зубца, или когда вслѣдствіе неправильно-сти расположенія зубцовъ и впадинъ, одинъ зубецъ спирается съ другимъ. Потому и треніе тѣлъ катящихся гораздо меньше, какъ мы видѣли, нежели треніе тѣлъ скользящихъ.

Основываясь на этомъ, въ приложеніяхъ часто стараются замѣнить скользящее треніе катящимся; для этого напримѣръ подъ перетаскиваемые грузы подкладываютъ катки, что значительно облегчаетъ ихъ передвиженіе; на самомъ дѣлѣ если грузъ покоится на одномъ или нѣсколькихъ каткахъ, то самый катокъ увлекается въ обращеніе, когда мы тянемъ грузъ въ одну или въ другую сторону; на мѣсто скользящаго тренія между платформою и дорогою, является въ двухъ мѣстахъ катящееся треніе; одно въ прикосновеніи катка съ дорогою, а другое въ прикосновеніи платформы съ каткомъ. Эти два тренія вмѣстѣ все-таки меньше сопротивляются движенію, чѣмъ одно скользящее треніе. Если взять за основаніе желѣзный катокъ, который мы привели въ предъидущемъ, то выйдетъ, что сумма обоихъ треній въ 13 разъ меньше, чѣмъ одно скользящее треніе, а слѣдовательно, если для перемѣщенія тѣла безъ катковъ употреблялось 13 лошадей, то при употребленіи

катковъ на тотъ же предметъ будетъ достаточно одной лошади.

Катки имѣютъ то важное неудобство, что оси ихъ движутся вдвое медленнѣе \*, чѣмъ платформа, которая на нихъ покоится, а потому они отстаютъ отъ платформы, вслѣдствіе чего ихъ нужно переносить и подкладывать подъ нее спереди, что требуетъ потери во времени и въ трудѣ; для избѣжанія такого неудобства, рѣшаются прикрѣплять катки къ перевозимымъ экипажамъ, такъ-что ось катка движется впередъ точно такъ же, какъ и самый экипажъ; но при этомъ въ той части, которая укрѣпляетъ катокъ къ экипажу, т.-е. на оси катка является скользящее треніе, которое конечно нѣсколько уменьшаетъ выгоды катковъ; несмотря на то, однако такое устройство приноситъ весьма значительную пользу и употребляется вообще для

---

\* Это обстоятельство, которое каждому известно изъ опыта, легко объяснить себѣ посредствомъ слѣдующаго соображенія: вообразимъ, вмѣсто круглаго разреза катка, многоугольникъ съ безчисленнымъ множествомъ сторонъ; пусть онъ опирается въ настоящее мгновеніе въ точку А и движется; очевидно, это движеніе можно разсматривать, какъ вращеніе происходящее около опорнаго ребра катка; въ такомъ случаѣ очевидно, ось катка находится къ центру вращенія вдвое ближе, чѣмъ самое верхнее его ребро, на которое опирается платформа, а вслѣдствіе того ось катка идетъ впередъ при томъ же вращеніи вдвое тише, чѣмъ ребро прикосновенія катка съ платформою, а слѣд. вдвое также тише, чѣмъ самая платформа.

лѣтнихъ экипажей. Колесо, какъ извѣстно, состоитъ изъ ступицы, надѣваемой на ось неподвижно укрѣпленную къ экипажу; въ эту ступицу укрѣплены идущія по радіусамъ спицы, которыя соединены между собою ободомъ; ступица очевидно при движеніи экипажа скользитъ по оси, но при каждомъ оборотѣ колеса точка прикосновенія оси со ступицею (т.-е. точка приложенія скользящаго тренія), проходитъ путь равный только окружности ступицы; поэтому работа расходуемая на треніе въ то время, какъ экипажъ подвигается впередъ на внѣшнюю окружность колеса, равняется величинѣ тренія на оси, умноженной на внутреннюю окружность ступицы; еслибы колесъ не было подъ экипажемъ, то работа тренія при томъ же перемѣщеніи экипажа состояла бы изъ величины тренія экипажа о дорогу, умноженной на внѣшнюю окружность колеса; сравнивая эти работы, видимъ, что для легкости перевоза весьма важно по-возможности увеличивать высоту колеса и уменьшать діаметръ его ступицы; это полезно во-первыхъ потому, что, какъ выше замѣчено, катящееся треніе тѣмъ меньше, чѣмъ больше діаметръ катка; а во-вторыхъ очевидно, чѣмъ больше діаметръ колеса сравнительно съ діаметромъ ступицы, тѣмъ меньшій путь проходитъ скользящее треніе, и тѣмъ мѣнь-

шая работа требуется для его преодоленія. Поэтому, напримѣръ, желѣзныя оси несравненно выгоднѣе деревянныхъ, потому-что ихъ при той же прочности можно сдѣлать гораздо тоньше, и слѣд. окружность ихъ, т.-е. путь проходимый треніемъ при одномъ оборотѣ колеса, будетъ меньше, а слѣд. и работа, расходуемая на это треніе будетъ меньше. Опыты произведенные прямо надъ величиною влекущей силы при разной высотѣ колесъ повозокъ вполне подтверждаютъ эти слѣдствія. Мы приводимъ изъ опытовъ Морена, произведенныхъ надъ повозками съ разными высотами колесъ, на одной и той же дорогѣ слѣдующія данныя:

Высота колесъ.	Потребная для движенія влекущая сила.
6 <sup>3</sup> / <sub>4</sub> фута.	1/83 груза.
5 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> —	1/63 —
3 <sup>4</sup> / <sub>5</sub> —	1/48 —

такъ-что въ повозкѣ съ самыми большими колесами можно было усиліемъ въ одинъ пудъ, подвигать грузъ въ 83 пуда, съ средней величины колесами усиліе въ одинъ пудъ можетъ передвигать 63 пуда, а съ маленькими колесами только 48 пудовъ.

Треніе перваго и втораго рода, вмѣстѣ съ жесткостью веревокъ и ремней, о которой мы говорили на предъидущей лекціи, суть такъ-называемыя

вредныя сопротивленія, избѣжать которыхъ мы не въ состояніи при устройствѣ машины; на самомъ дѣлѣ всякая машина, говорили мы, есть система тѣлъ, взаимно опирающихся, взаимно другъ друга поддерживающихъ, такъ-что каждая точка машины можетъ двигаться только по одной совершенно-опредѣленной линіи. Для этого очевидно необходимо, чтобы одно тѣло скользило или катилось по другому, а при этомъ между двумя тѣлами является, какъ мы видѣли, взаимодействіе, которое можно разсматривать состоящимъ изъ двухъ силъ; изъ нихъ одна, называемая *треніемъ*, идетъ по направленію прямопротивному направленію движенія и всегда производитъ извѣстную замедляющую работу; другая, называемая *давленіемъ*—перпендикулярна къ плоскости касанія, а слѣд. и къ направленію движенія; работа этой силы есть нуль, и потому ее при изученіи *движенія* \* машины можемъ оставить совершенно въ сторонѣ. Слѣдовательно, въ нашъ сосудъ вслѣдствіе существованія связи между отдѣльными тѣлами, составляющими машину, не вольется ни одной капли воды,

---

\* Мы пишемъ курсивомъ слово *движенія*, потому-что при изученіи устройства машины, опредѣленіи прочныхъ размѣровъ всѣхъ ея частей напротивъ давленіе играетъ первую и самую важную роль.

а непременно изъ него известная часть воды выльется: ибо, какъ замѣчено, силы производящія эту связь доставляютъ только замедляющую работу. Ихъ дѣйствиємъ будетъ постоянно расходоваться часть воды изъ сосуда; каждое мѣсто въ машинѣ, гдѣ подвижныя ея части скользятъ или катятся одна по другой, будетъ отвѣчать какому-нибудь большому или малому отверстію въ сосудѣ, черезъ которое вода изъ него будетъ постоянно вытекать; это отверстіе будетъ велико или мало смотря по тому, велико или мало будетъ треніе, возбуждаемое въ рассматриваемомъ мѣстѣ машины; вода изъ этого отверстія будетъ вытекать болѣе или менѣе стремительно (т. — е. отверстіе будетъ расположено на бѣльшей или на мѣньшей глубинѣ подъ уровнемъ воды въ сосудѣ), смотря по тому, скоро или медленно движется точка приложенія тренія.

Наконецъ намъ остается сказать еще нѣсколько словъ о другихъ силахъ, имѣющихъ вліяніе на ходъ и дѣйствіе машинъ.

Взаимодѣйствіе между средою, окружающею машину, воздухомъ или водою, и самою машиною, въ нѣкоторыхъ случаяхъ служитъ для машинъ движущею силою, напр. когда лодка идетъ внизъ по теченію медленно, чѣмъ идетъ вода; когда

движущійся воздухъ, называемый вѣтромъ, приводитъ въ обращеніе крылья вѣтровой мельницы. Въ такомъ случаѣ это взаимодействіе между средою окружающею воздухъ и машиною, относится уже къ движущимъ силамъ; во всѣхъ же тѣхъ случаяхъ, когда движеніе передается не отъ среды къ машинѣ, ихъ взаимодействіе представляетъ собою сопротивленіе движенію; оно и называется сопротивленіемъ воздуха, сопротивленіемъ воды; работа этихъ сопротивленій также всегда замедляющая, она представится нѣкоторымъ объемомъ воды вытекающей изъ сосуда, изображающаго движеніе машины; въ обыкновенныхъ случаяхъ практики, когда машины движутся не черезъ-чуръ быстро, особенно же когда они, измѣняя при движеніи свое положеніе, не перемѣняютъ мѣста (т.-е. движутся, какъ ходятъ напр. валы съ неподвижными осями и сидящія на нихъ колеса, занимающія во всякомъ своемъ положеніи одно и то же мѣсто въ пространствѣ), то сопротивленіе представляемое воздухомъ довольно незначительно, и имъ можно пренебречь; но если машина идетъ скоро и притомъ постоянно изъ одного мѣста переходитъ въ другое, какъ локомотивъ, какъ пароходъ, то это сопротивленіе играетъ весьма важную роль. Оно будетъ всегда въ числѣ вред-

ныхъ сопротивленій и его работа, какъ замѣчено, всегда безъ исключенія будетъ замедляющею работою.

Полезныя сопротивленія дѣйствующія на машину, всегда доставляютъ работу замедляющую ея движеніе; направленіе этихъ сопротивленій въ бѣльшей части случаевъ прямопротивоположно направленію движенія орудія, и потому ихъ работа получается очень просто въ пудофутахъ, если умножимъ величину сопротивленія, выраженную въ пудахъ, на длину пути проходимаго орудіемъ. Эта работа всегда замедляющая, слѣдовательно представится объемомъ воды вытекающей изъ сосуда, представляющаго движеніе машины.

Въ заключеніе сдѣлаемъ нѣкоторыя замѣчанія относительно работы движущихъ силъ, и постараемся разсмотрѣть вліяніе всѣхъ силъ, нами разсмотрѣнныхъ, на движеніе машины.

Движителемъ въ машинѣ обыкновенно служитъ какое-нибудь тѣло или уже приведенное въ движеніе нѣкоторою силою (какъ вода упавшая внизъ вслѣдствіе своего вѣса; воздухъ, приведенный въ движеніе также своимъ вѣсомъ, получившимъ дѣйствіе отъ неравномѣрнаго распредѣленія теплоты),— и стремящееся сохранить свое движеніе по инерціи, или тѣло только-что приводимое въ движеніе си-

лою (какъ вода идущая въ ящики наливнаго колеса, какъ паръ давящій на поршень въ паровой машинѣ и т. д.); въ обоихъ случаяхъ, чтобы движитель передавалъ машинѣ нѣкоторое дѣйствіе, необходимо, чтобы машина представляла собою извѣстное препятствіе, извѣстное сопротивленіе тому движению, которое уже существуетъ въ движитель, или тому, которое онъ принялъ бы подѣ дѣйствіемъ силы, къ нему приложенной, еслибы не встрѣчалъ на пути своемъ машины; на-самомъ-дѣлѣ, положимъ, что движитель, приходя къ машинѣ и протекая черезъ ея пріемникъ, сохраняетъ то же движеніе, которое имѣлъ бы, еслибы машины не было. Тогда пріемникъ машины не оказываетъ на движителя никакого дѣйствія, никакого давленія; слѣдовательно во объясненному въ предъидущей лекціи началу противодѣйствія и движитель никакого давленія на пріемникъ не оказываетъ; чтобы давленіе на пріемникъ было производимо движителемъ, необходимо, чтобы пріемникъ производилъ нѣкоторое измѣненіе въ естественномъ движеніи тѣла, служащаго движителемъ. Притомъ это давленіе, производимое движителемъ, будетъ тѣмъ больше, чѣмъ бѣльшее измѣненіе производитъ въ его движеніи пріемникъ; а какъ пріемникъ очевидно долженъ двигаться по тому же направленію, по которому

идеть движитель (иначе работа движителя будетъ замедляющая), то ясно, что самое большое дѣйствіе на движителя оказываетъ пріемникъ тогда, когда онъ совершенно останавливаетъ движителя, совершенно уничтожаетъ его движеніе. Это случится очевидно тогда, когда пріемникъ оставаясь неподвижнымъ преграждаетъ собою совершенно путь движителю, а потому наибольшее давленіе получаетъ пріемникъ отъ движителя тогда, когда несмотря на открытый сему посылдному доступъ, пріемникъ остается еще въ покоѣ, т.-е. когда машина только-что приходитъ въ движеніе, только-что пускается въ ходъ; напротивъ, давленіе движителя на пріемникъ уничтожается, исчезаетъ вовсе, когда пріемникъ ходитъ столь быстро, что не представляетъ собою никакого сопротивленія движителю.

Положимъ же, что на находящейся еще въ покоѣ пріемникъ мы пускаемъ движителя; каждая частица его производитъ на пріемникъ весьма сильное давленіе, — наибольшее, которое только она можетъ оказать, но въ началъ число движущихъ частицъ будетъ еще слишкомъ мало для того, чтобы привести въ движеніе машину; общее давленіе, производимое всѣми частицами, вмѣстѣ взятыми, будетъ еще черезъ-чуръ слабо, чтобы преодолѣть всѣ

сопротивленія, встрѣчаемая машиною въ движеніи; но это общее давленіе, усиливаясь мало-по-малу помѣръ притока движителя, достигаетъ наконецъ такой степени, что, вообразивъ въ машинѣ возможное движеніе по тому направленію, по которому дѣйствуетъ движитель, и вычисливъ его работу, найдемъ, что она равна вычисленной для того же движенія работѣ всѣхъ дѣйствующихъ на машину сопротивленій. Это будетъ послѣднее мгновеніе покоя, и первое мгновеніе движенія машины; ибо давленіе движителя на приѣмникъ вслѣдствіе дальнѣйшаго его притока все будетъ возрастать, а мы знаемъ, что какъ-только работа движителя для возможнаго перемѣщенія станетъ больше работы сопротивленій, то это движеніе и начнется въ машинѣ. При этомъ давленіе на приѣмникъ будетъ измѣняться, а именно—станетъ уменьшаться отъ того, что каждой частицѣ движителя приѣмникъ представляетъ меньшее сопротивленіе, и станетъ увеличиваться отъ того, что вслѣдствіе медленности движенія машины будетъ постоянно увеличиваться число давящихъ частицъ, которыя будутъ пускаться въ количествѣ соразмѣрномъ съ нормальнымъ ходомъ машины; смотря по тому, какая изъ двухъ приведенныхъ причинъ дѣйствуетъ сильнѣе, давленіе движителя на приѣмникъ будетъ или уменьшаться

или увеличиваться; въ первомъ случаѣ машина будетъ двигаться толчками и поминутно останавливаться; это будетъ очень плохая машина, которая не можетъ ходить за недостаткомъ движущей силы; въ послѣднемъ случаѣ ходъ машины будетъ постепенно ускоряться, потому — что вслѣдствіе увеличивающагося давленія двигателя, его работа для одного и того же перемѣщенія будетъ возрастать; а какъ она при началѣ движенія равнялась работѣ сопротивленій, то теперь будетъ превосходить её, а слѣд. движеніе машины все будетъ ускоряться-и-ускоряться. Въ сосудѣ, изображающій движеніе машины, будетъ вливаться все болѣе-и-болѣе воды сравнительно съ тѣмъ, что изъ него вытекаетъ,—слѣд. уровень воды въ сосудѣ будетъ повышаться.

Но возрастаніе общаго давленія, производимаго всѣмъ притекающимъ двигателемъ, будетъ продолжаться только до нѣкотораго предѣла: на-самомъ-дѣлѣ скорость машины наконецъ увеличится до того, что она будетъ расходовать точно то же количество двигателя, которое къ ней доставляется; тогда уже число давящихъ частицъ не будетъ увеличиваться; машина же, ускоряя постепенно свой ходъ, тѣмъ самымъ будетъ уменьшать давленіе производимое каждою частицею двигате-

ля; наконецъ это давленіе уменьшится до того, что его работа поравняется съ работою всѣхъ сопротивленій, встрѣчаемыхъ машиною; тогда машина перестанетъ ускорять свое движеніе, и начнетъ двигаться или равномерно, или (вслѣдствіе нѣкоторыхъ неправильностей въ дѣйствии движителя и сопротивленія, или вслѣдствіе самаго устройства машины) ея скорость будетъ то возрастать, то уменьшаться; во всякомъ случаѣ машина приметъ свой полный ходъ, который затѣмъ и будетъ продолжаться, пока не прекратимъ притока движителя, или не увеличимъ сопротивленій, встрѣчаемыхъ машиною—до того, что онѣ остановятъ машину.

Послѣ этого предварительнаго разбора работъ всѣхъ силъ дѣйствующихъ на машину, легко извлечь изъ разсмотрѣннаго нами способа изображать ея движеніе нѣкоторыя очень важныя слѣдствія; но чтобъ быть совершенно ясными, мы напомнимъ вкратцѣ тѣ положенія, къ которымъ доселѣ пришли: на машину дѣйствуютъ шесть различныхъ разрядовъ силъ; изъ нихъ движущія силы, какого бы рода онѣ ни были, даютъ ускоряющую работу; полезныя сопротивленія,—преодоленіе которыхъ составляетъ цѣль машины, даютъ работу замедляющую; дѣйствіе оказываемое на машину окружающею средою, равно какъ и взаимо-

дѣйствіе между отдѣльными твердыми тѣлами въ составъ машины входящими, всегда даютъ также замедляющую работу; взаимная связь между частицами одного и того же твердаго тѣла, даетъ столько же ускоряющей, сколько и замедляющей работы, или, что все-равно, не даетъ никакой работы, если разстояніе частицъ не измѣняется; въ случаѣ измѣненія разстоянія между частицами, работа силъ производящихъ эту связь будетъ замедляющая. Наконецъ вѣсь частей машины даетъ работу ускоряющую, когда центръ тяжести всей машины опускается, и даетъ точно столько же замедляющей работы, когда центръ тяжести машины поднимается. Въ промежутокъ времени, въ началѣ и въ концѣ котораго центръ тяжести машины находится на одной и той же высотѣ надъ горизонтомъ, замедляющая и ускоряющая работы вѣса частей машины совершенно равны между собою.

Первое слѣдствіе, которое мы выведемъ изъ составленія вѣсхъ упомянутыхъ различныхъ обстоятельствъ движенія машины, будетъ невозможность рѣшенія знаменитой задачи о вѣчномъ движеніи.

Задача эта состоитъ въ томъ, чтобы устроить машину, которая, бывъ одинъ разъ приведена въ движеніе, продолжала бы затѣмъ вѣчно двигаться безъ содѣйствія какихъ бы то ни было движущихъ

силъ. Вообразимъ, что такая машина дѣйствительно устроена, и пусть она приведена въ движеніе; возьмемъ сосудъ съ основаніемъ отвѣчающимъ массѣ машины, нальемъ въ него воды до такого уровня, который отвѣчаетъ средней скорости всей машины, — и станемъ разсматривать, повысится ли или понизится, или останется на той же высотѣ уровень воды этого сосуда въ промежутокъ времени, въ концѣ котораго центръ тяжести машины приходитъ на ту же высоту, на которой онъ былъ въ его началѣ \*. Въ этотъ промежутокъ времени дѣйствіемъ вѣса машины, воды не прибавилось въ нашемъ сосудѣ и не убавилось.

Дѣйствіемъ силъ производящихъ связь между частицами твердыхъ частей машины, воды или не прибавилось и не убавилось, если разстоянія частицъ не измѣнились, или убыло, если эти разстоянія подверглись перемѣнѣ. Для вѣчнаго движенія, очевидно, выгоднѣе первое предположеніе, чѣмъ второе; — примемъ же его, т.-е. положимъ, что эти силы на среднюю скорость машины никакого вліянія не оказываютъ.

Вредныя сопротивленія, являющіяся вслѣдствіе

---

\* Очевидно, все время движенія машины можно разбить на такіе періоды; ибо не можетъ же центръ тяжести постоянно повышаться ли постоянно понижаться.

связи между твердыми частями машины, а также вследствие взаимодействия между машиною и окружающею средою, непременно существуют въ машинѣ; избѣгнуть ихъ нельзя: ибо они являются вездѣ, гдѣ два прикасающіеся тѣла движутся неодинаково; дѣйствіемъ этихъ вредныхъ сопротивленій высота воды въ нашемъ сосудѣ непременно понижается; полезныя сопротивленія, преодолеваемыя машиною, поглощая часть работы, также производятъ пониженіе воды въ нашемъ сосудѣ. Наконецъ движущихъ силъ по предположенію нѣтъ: слѣд. ихъ дѣйствіемъ не восполняется убыль производимая другими, только-что поименованными причинами.

Изъ всего этого видно, что въ рассматриваемый нами промежутокъ времени нѣкоторыя силы, какъ то вѣсъ тѣла, связь между частицами каждаго отдѣльнаго тѣла, не прибавятъ и не убавятъ воды въ нашемъ сосудѣ, — дѣйствіемъ же другихъ силъ, а именно, дѣйствіемъ полезныхъ и вредныхъ сопротивленій, напротивъ, непременно будетъ произведена известная убыль воды; слѣд. въ концѣ періода, который мы разбираемъ, воды въ нашемъ сосудѣ будетъ меньше, чѣмъ въ его началѣ, а это показываетъ, что движеніе машины втеченіи этого періода замедлится, — средняя ея скорость въ концѣ періода будетъ меньше чѣмъ въ его началѣ; въ концѣ слѣ-

дующаго періода она станетъ еще меньше, и т. д., а слѣдовательно машина наконецъ совершенно остановится.

Даже еслибы мы не заставляли нашу машину работать (преодолѣвать полезныя сопротивленія), еслибы мы пустили ее ходить порожнемъ, т.-е. вмѣсто машины устроили бы игрушку, то и тогда не было бы возможности сообщить ей вѣчное движеніе. Машина, наконецъ, остановится вслѣдствіе вліянія однихъ вредныхъ сопротивленій, совершенно устранить которыя мы не въ состояніи.

Такимъ — образомъ вѣчнаго движенія мы ни въ какомъ случаѣ получить не можемъ; причина тому заключается, какъ мы видимъ, во вредныхъ сопротивленіяхъ дѣйствующихъ на машину; они, постоянно замедляя движеніе всякой машины, тѣмъ самымъ ее современемъ останавливаютъ, если только ея движеніе не поддерживается посторонними, внѣшними движущими силами.

Еслибы силы выражающія связь между соприкасающимися другъ съ другомъ тѣлами были перпендикулярны къ плоскости касанія, то вѣчное движеніе игрушечной машины (т.-е не преодолевающей полезныхъ сопротивленій) было бы возможно; ибо тогда работа вредныхъ сопротивленій была бы нулемъ; но то обстоятельство, что онѣ не перпен-

дикулярны къ этой плоскости, мѣняетъ вѣчному движенію, дѣлаетъ его невозможнымъ.

Мы не должны однакожь слишкомъ сильно жаловаться на это; лишаясь удовольствія устроить пустую, бесполезную игрушку, мы извлекаемъ изъ того, что взаимодействіе прикасающихся тѣлъ не перпендикулярно къ плоскости касанія, весьма существенную пользу.

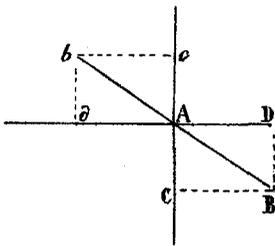
Такъ, нетрудно показать, что безъ этого обстоятельства мы не могли бы перемѣщаться по горизонтальному направленію, а могли бы только болѣе или менѣе высоко скакать, оставаясь постоянно на одномъ мѣстѣ. На-самомъ-дѣлѣ представимъ себѣ, что мы стоимъ на горизонтальномъ полу; на наше тѣло дѣйствуютъ различныя силы:

1) Внутреннія силы тѣла, которыя, какъ уже замѣчено на прошлой лекціи, могутъ только измѣнить относительное положеніе частей тѣла, но перемѣстить его, измѣнить положеніе его центра тяжести не могутъ.

2) Вѣсъ нашего тѣла, который стремится его опустить.

3) Взаимодействіе между поломъ и нашимъ тѣломъ, которое мы теперь предполагаемъ всегда перпендикулярнымъ къ плоскости касанія, слѣд. въ нашемъ случаѣ перпендикулярнымъ къ горизонталь-

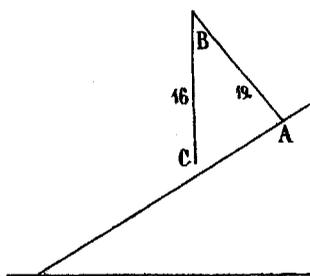
ному полу или вертикальнымъ. Если мы ни сколько не гапргаемъ нашихъ ножныхъ мускуловъ, то это взаимодействие, уничтожая вѣсь тѣла, будетъ равно ему; вообразимъ же, что мы при этомъ еще напрягли наши ножные мускулы съ известнымъ усиліемъ по какому ни есть направленію; положимъ, на примѣръ, что мы развили усиліе по направленію  $AB$ ; въ силу закона противодѣйствія внутри нашего тѣла разовьется еще усиліе  $Ab$ , равное  $AB$  и прямопротивоположное; если горизонтальный полъ въ состояніи дѣйствовать на насъ только по вертикальному направленію, то отъ взаимодействия между поломъ и нашимъ тѣломъ разовьется вертикальное усиліе, которое по объясненному выше будетъ равно и прямопротивоположно вертикальной слагающей  $AC$  усилія  $AB$ ;



Черт. 68.

это взаимодействие уничтожитъ потому самому дѣйствіе вертикальной слагающей  $AC$ , и слагающая  $Ac$  силы  $Ab$ , идущая прямо кверху, получитъ свое дѣйствіе и подниметъ нашъ центръ тяжести; слагающая же  $Ad$  усилія  $Ab$  не можетъ подвинуть нашъ центръ тяжести по горизонтальному направленію, ибо она уничтожится горизонтальною

слагающею  $AD$  усилія  $AB$ ; такъ-что вслѣдствіе немѣня горизонтальной слагающей во взаимодействіи между поломъ и опирающимся на него нашимъ тѣломъ, мы не могли бы по горизонтальной плоскости передвигаться; подняться кверху по наклонной плоскости было бы уже совершенно невозможно, — мы могли бы только спускаться по ней подъ дѣйствіемъ своего вѣса; на-самомъ-дѣлѣ положимъ, что мы, давя на наклонную плоскость, успѣли развить въ ней такое усиліе, которое по направленію къ ней перпендикулярному сообщило центру тяжести нашего тѣла скорость 12 футовъ въ секунду; чтобы найти мѣсто нашего тѣла по истеченіи 1'', нужно отложить по направленію  $AB$  перпендикулярному къ наклонной плоскости 12 фут., и отъ конца  $B$  этой прямой отложить по верти-



Черт. 69.

кальной линіи длину въ 16 фут., которую вѣсъ нашего тѣла заставляетъ его пройти по вертикальному направленію (см. Лекцію VIII); точка  $C$  и будетъ мѣстомъ тѣла, такъ-что ни въ какомъ случаѣ подняться мы не могли бы, да не

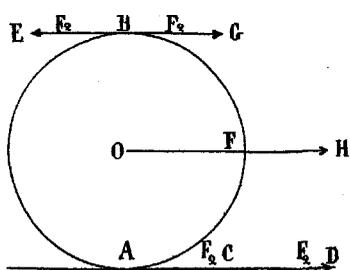
было бы также возможности и удержаться на наклонной плоскости: мы непрестанно скользили

бы по ней книзу; трение же, которое въ действительности возбуждается между опорными частями нашего тѣла и наклонной плоскостію, удерживаетъ насъ отъ скользянія; точно также это трение, уничтожая параллельную опорной плоскости слагающую усилія, возбуждаемаго взаимодействіемъ между различными частями нашего тѣла, можетъ подвинуть насъ кверху по наклонной плоскости, разумѣется, если только плоскость эта не составляетъ слишкомъ большаго угла съ горизонтомъ; чѣмъ больше этотъ уголъ, тѣмъ большее давленіе мы должны оказывать на опорную плоскость, чтобы получить трение достаточное для подъема груза равнаго вѣсу нашего тѣла, и слѣд. тѣмъ быстрее мы устаемъ.

Можно бы было представить тысячи другихъ примѣровъ, гдѣ трение играетъ въ высшей степени важную и полезную для насъ роль, но мы ограничимся объясненіемъ лишь одного весьма важнаго примѣненія той части взаимодействія между опирающимися тѣлами, которая производитъ между ними скользящее трение.

Вообразимъ колесо *AOB* локомотива, опирающееся на рельсъ въ точкѣ *A*; это колесо находится теперь въ покоѣ; взаимодействіе между рельсомъ и колесомъ выражается двумя силами; изъ нихъ одна

перпендикулярная къ рельсу составляетъ собою давленіе между колесомъ и рельсомъ; другая параллельна рельсу, и можетъ быть направлена въ одну или въ другую сторону, и по величинѣ можетъ быть какая угодно, но не можетъ превзойти скользящаго тренія, которое въ случаѣ желѣза трущагося объ желѣзо составляетъ приблизительно около  $\frac{1}{8}$  давленія. Эта послѣдняя сила какъ-только колесо приводится въ движеніе, возбуждается по направленію прямопротивоположному направленію движенія его точки *A*. Назовемъ это усиліе черезъ *AD*;



Черт. 70.

ясно, что его дѣйствіе не перемѣнится, если къ точкѣ *B* прямопротивной *A* приложу двѣ силы *BE* и *BG* прямопротивоположныя, равныя между собою и равныя половинѣ *AD*. Кро-

мѣ-того силу *AD* могу разсматривать, какъ состоящую изъ двухъ частей *AC* и *CD* равныхъ половинѣ *AD*, такъ-что вмѣсто одной силы *AD*, дѣйствующей въ опорной точкѣ *A* колеса, я могу разсматривать четыре силы, всѣ равныя между собою и половинѣ *AD*; изъ нихъ три *AC*, *CD* и *BG* дѣйствуютъ по одному направленію, а *BE* по прямопротивному; но двѣ силы *AC* и *BE* очевидно ничего другаго не произ-

водятъ, какъ стремятся повернуть колесо въ сторону противоположную той, въ которую его вращаетъ паровая машина; онѣ и уничтожаются дѣйствіемъ этой машины, для которой составляютъ непосредственное полезное сопротивленіе. Двѣ же другія силы  $CD$  и  $BG$  подвигаютъ колесо впередъ по своему направленію; будучи одинаково направлены, равны между собою, и приложены въ равныхъ разстояніяхъ отъ оси, онѣ дѣйствуютъ точно такъ, какъ одна сила  $OH$  прямо приложенная къ оси и равная ихъ суммѣ, т.-е. усилю  $AD$ ; эта-то сила подвигаетъ локомотивъ, и соединенный съ нимъ поѣздъ впередъ; она-то и составляетъ *влекущую силу* локомотива.

Эта влекущая сила, какъ мы видѣли, не можетъ быть болѣе скользящаго тренія; но треніе возрастаетъ въ той же мѣрѣ, какъ давленіе; слѣд. чѣмъ больше вѣсъ локомотива, тѣмъ больше будетъ также и его влекущая сила, хотя не должно думать, чтобы простымъ увеличеніемъ вѣса локомотива можно было увеличить влекущую его силу; вмѣстѣ съ увеличеніемъ этой послѣдней, увеличиваются также и двѣ силы, представляющія собою сопротивленіе вращенію колеса; для ихъ преодоленія потребно большее усиліе, слѣд. и паровая машина, приводящая локомотивъ въ движеніе должна быть

усилена; но должно замѣтить, что увеличеніемъ только силы машины, безъ увеличенія вѣса локомотива, нельзя увеличить его влекущей силы (т.-е. груза поѣзда, приводимаго локомотивомъ въ движеніе); этимъ средствомъ можно только скорость локомотива сдѣлать больше, но чтобы можно было увеличить число вагоновъ поѣзда, необходимо самый локомотивъ сдѣлать тяжеле.

Легкій пассажирскій поѣздъ представляетъ менѣе сопротивленія, чѣмъ товарный: ибо тренія на осяхъ колесъ будутъ въ немъ менѣе вслѣдствіе меньшаго давленія; потому для товарнаго поѣзда локомотивы должны быть тяжеле, чѣмъ для пассажирскаго.

На совершенно горизонтальной дорогѣ сопротивленія движенію поѣзда состоятъ только изъ скользящаго тренія колесныхъ осей о втулки, изъ катящагося тренія колесъ о рельсы и изъ сопротивленія воздуха; въ случаѣ же подъемовъ на горы, къ этимъ сопротивленіямъ присоединяется еще поднимающійся вѣсъ самаго поѣзда и локомотива. Сопротивленія становятся больше, слѣд. и влекущая сила должна быть увеличена, т.-е. на горныхъ дорогахъ необходимо употреблять болѣе тяжелые локомотивы, чѣмъ на дорогахъ, пролегающихъ черезъ равныя мѣста.

Интересно опредѣлить, каковъ можетъ быть *наибольшій* уклонъ, по которому можетъ подвигаться кверху локомотивъ; для того, чтобы найти его, предположимъ, что весь грузъ локомотива опирается на его движущія колеса; далѣе, что локомотивъ идетъ безъ поѣзда, и найдемъ на какой уклонъ онъ можетъ подниматься; уклонъ этотъ во всякомъ случаѣ выйдетъ не великъ, а потому мы можемъ предположить, что весь грузъ локомотива производитъ давленіе на рельсы; влекущая сила локомотива будетъ приблизительно равняться  $\frac{1}{8}$  его вѣса; а слѣд. если примемъ грузъ локомотива въ 800 пудовъ, то его влекущая сила не можетъ быть больше 100 пудовъ; если локомотивъ прошелъ разстояніе въ 1 футъ, то работа этой влекущей силы будетъ 100 пудофутовъ; эта работа непременно должна быть больше работы вѣса поднимающагося локомотива; иначе движеніе локомотива замедлится; но если локомотивъ вѣсомъ въ 800 пудовъ поднимается на  $\frac{1}{8}$  фута, то работа его вѣса будетъ 100 пудофутовъ; слѣд. для возможности подъема пустаго локомотива необходимо, чтобы онъ, подвигаясь впередъ на одинъ футъ, поднялся менѣе чѣмъ на  $\frac{1}{8}$  фута; но при этомъ онъ не будетъ еще въ состояніи тянуть за собою какой бы то ни было грузъ, да не будетъ въ со-

стояніи двигаться и одинъ; ибо кромѣ собственнаго вѣса встрѣчаетъ и другія сопротивленія движенію, какъ-то сопротивленіе воздуха, треніе колесныхъ осей о втулки или сальники и т. д. Поэтому указаннаго нами предѣла никогда въ практикѣ не достигаютъ. Наибольшій уклонъ, который придаютъ желѣзнымъ дорогамъ, и то лишь въ горахъ, гдѣ устройство слабѣйшихъ уклоновъ стоило бы крайне дорого, составляетъ около  $\frac{1}{40}$  (т.-е. при этомъ наибольшемъ уклонѣ локомотивъ, проходя 40 футовъ, поднимается на 1 футъ) и при такомъ подъемѣ локомотивъ можетъ еще увлекать за собою поѣздъ въ 3 — 4 раза превышающій его вѣсъ. Въ ровныхъ мѣстностяхъ уклонъ желѣзныхъ дорогъ не превосходитъ  $\frac{1}{200}$ , т.-е. дорога на длинѣ въ 200 футовъ поднимается не болѣе, какъ на одинъ футъ. Въ холмистыхъ мѣстностяхъ допускаются уклоны въ  $\frac{1}{100}$ .

---

## ЛЕКЦІЯ XII.

Уравнители движенія машинъ. Законъ передачи работъ. Его при-  
ложеніе къ простымъ машинамъ.

Изъ всего, что доселѣ было нами сказано о машинахъ, ясно слѣдуетъ, что машина сама не творитъ работы: она только передаетъ ее, причемъ ходитъ совершенно равномерно, или, вѣрнѣе говоря, сохраняетъ постоянно одну и ту же среднюю скорость въ случаѣ, если работа доставляемая машинѣ двигателемъ постоянно равна работѣ, которую машина расходуетъ на сопротивленія. Если работы доставляется двигателемъ больше, чѣмъ сколько расходуется на сопротивленія, то избытокъ работы отлагается въ машинѣ; машина представляетъ тогда собою магазинъ, складочное мѣсто, въ которомъ собирается избытокъ работы въ видѣ живой силы машины; эта живая сила, возрастая вмѣстѣ

со скоростью машины, составляет запасъ, который затѣмъ можетъ быть израсходованъ въ ту пору, какъ машина замедляетъ свое движеніе, т.-е. въ ту пору, какъ работа расходуемая сопротивленіемъ превосходитъ работу доставляемую въ то же время двигателемъ. Чѣмъ больше скопленный въ машинѣ запасъ работы, чѣмъ больше ея живая сила, или, что то же, чѣмъ значительнѣе масса движущихся ея частей и чѣмъ быстрѣ онѣ движутся, тѣмъ мѣншую часть этого запаса должна израсходовать машина для пополненія недостатка въ работѣ двигателя въ ту пору, когда доставляемая имъ работа меньше, чѣмъ работа расходуемая на сопротивленія, — и слѣдовательно тѣмъ ровнѣе будетъ идти машина, несмотря на неровность дѣйствія приложенныхъ къ ней силъ; тѣмъ меньше будутъ колебанія въ стояннѣ воды внутри сосуда, изображающаго собою движеніе машины, несмотря на то, что притокъ и вытеканіе воды идутъ не совершенно равномерно.

Это простое замѣчаніе можетъ объяснить для насъ назначеніе одной изъ весьма важныхъ, существенныхъ частей машинъ, о которой мы уже одинъ разъ говорили, именно назначеніе маховаго колеса; вообразимъ, что мы входимъ въ молотовую какого-нибудь желѣзодѣлательнаго завода; мы увидимъ тамъ

между-прочимъ огромные молота, которые приводятся въ движеніе слѣдующимъ образомъ: на особомъ валѣ вращающемся около своей оси (вслѣдствіе дѣйствія напримѣръ водянаго колеса) посажено колесо съ нѣсколькими выступами или кулаками, которые, задѣвая послѣдовательно за головку молотовища, приподымають одинъ его конецъ, между — тѣмъ, какъ другой остается неподвижнымъ; близъ поднимаемаго конца находится тяжелая желѣзная масса, составляющая собственно молотъ; ниже его на крѣпкихъ деревянныхъ подставахъ утверждена наковальня, на которую и кладуть кусокъ желѣза, который нужно ковать. Близъ этихъ кулаковъ мы замѣтимъ сидящее на той же оси съ валомъ огромной высоты и значительнаго вѣса чугунное колесо; это колесо не сцѣплено ни съ чѣмъ; оно кажется совершенно даромъ сидитъ на оси, даромъ сгибаетъ и портитъ валъ, даромъ нажимаетъ его къ опорамъ, портитъ эти опоры, увеличиваетъ треніе на нихъ происходящее и такъ далѣе. За чѣмъ же оно посажено? Всмотримся внимательно въ работу, которая здѣсь производится и мы ясно увидимъ и необходимость этого колеса, и причину, почему оно сдѣлано такой огромной высоты. Спротивленіе преодоляемое здѣсь машиною, состоящею изъ водянаго колеса, вала, кула-

ковъ и маховаго колеса есть вѣсь поднимаемаго молота; это сопротивленіе дѣйствуетъ не постоянно, но съ перерывами; пока молотъ падаетъ, оно во все не дѣйствуетъ; вода же притекаетъ на колесо постоянно; слѣд. здѣсь мы имѣемъ тотъ случай движенія, который можетъ быть изображенъ сосудомъ, въ который постоянно приливается вода, но изъ котораго она вытекаетъ только по временамъ, зато въ огромномъ количествѣ. Еслибъ среднее количество воды содержащейся въ этомъ сосудѣ, т.-е. масса и средняя скорость движущихся частей были очень малы, то вслѣдствіе постепеннаго накопленія воды въ то время, какъ она не вытекаетъ, уровень ея возвысился бы весьма значительно, скорость, съ которою вращается валъ, стала бы гораздо больше, чѣмъ средняя ея величина, и это имѣло бы многія весьма вредныя слѣдствія; такъ ударъ кулака подошедшаго къ спокойно-лежащему молотовищу былъ бы чрезвычайно-силенъ и могъ бы сломать слабѣйшую изъ частей машины; кромѣ-того скорость водянаго колеса значительно бы увеличилась; а вслѣдствіе этого вода потеряла бы выгоднѣйшее свое давленіе на ковши, и могла бы изъ нихъ выплеснуться, и слѣд. мы даромъ потратили бы значительное количество движущей силы; всѣ эти невыгоды еще сильнѣе от-

зываются, когда кулакъ подойдетъ подъ молотъ и начнетъ подымать его; при этомъ вслѣдствіе огромнаго количества вытекающей изъ нашего сосуда воды можетъ случиться, что ея тамъ не останется нисколько, значить, машина наша совсѣмъ остановится, и если мы не успѣемъ во-время остановить притока воды въ ковши колеса, то очень вѣроятно, что она ихъ переломастъ.

Всѣ эти неудобства произошли оттого, что скорость нашей машины слишкомъ-быстро измѣняется, слишкомъ-сильно отступаетъ отъ своей средней величины; нужно по-возможности ослабить эти отступленія; чтобы ихъ ослабить, мы должны увеличить запасъ работы скопленной въ нашей машинѣ, а для того мы имѣемъ два средства, — одно состоитъ въ томъ, чтобы увеличить массу движущихся частей машины, другое въ томъ, чтобы увеличить ихъ среднюю скорость; притомъ второе средство дѣйствительнѣе перваго: ибо, какъ знаемъ, съ увеличеніемъ скорости тѣла вдвое, запасъ работы въ немъ скопившейся увеличивается вчетверо, между-тѣмъ какъ съ увеличеніемъ вдвое массы тѣла, запасъ работы нужной для сообщенія той же скорости увеличивается только вдвое. Увеличить массу вала мы можемъ очень просто, — стоитъ лишь его отковать какъ-можно потолще; но

въ бѣльшей части случаевъ, еслибъ мы вздумали пользоваться этимъ средствомъ, то намъ оно обошлось бы очень дорого; валъ сдѣлался бы непомерно дорогъ и тяжелъ, тренія въ опорныхъ точкахъ увеличились бы до чрезвычайной степени; поэтому обыкновенно пользуются другимъ средствомъ, которое и само-по-себѣ болѣе дѣйствительно, т.-е. стараются увеличить среднюю скорость нѣкоторыхъ движущихся частей машины. Для этого соединяютъ съ валомъ посредствомъ спиць и ступицы большой массивный ободъ, который ставятъ отъ вала какъ-можно дальше. Тогда частицы этого обода при каждомъ оборотѣ вала будутъ пробѣгать огромное пространство; ихъ средняя скорость, а слѣд. и запасъ работы въ нихъ скопляющейся,— а потому и ихъ уравнивательное дѣйствіе будетъ тѣмъ больше, чѣмъ дальше онѣ стоятъ отъ вала; этотъ ободъ и составитъ собою маховое колесо, которое слѣдовательно тѣмъ лучше будетъ дѣйствовать, чѣмъ оно больше.

Во всѣхъ подобныхъ случаяхъ, когда работы силъ подвержены значительнымъ переменамъ въ своей величинѣ, употребленіе маховаго колеса необходимо. Возьмемъ, на примѣръ, простой токарный станокъ; человекъ приводитъ его въ движеніе ногою давя на педаль, которая однимъ

концомъ надѣта на колѣно могущей вращаться въ своихъ опорахъ оси, а другимъ укрѣплена неподвижно; на той же оси сидитъ довольно тяжелое колесо значительнаго діаметра, и черезъ него перекинутъ туго натянутый шнуръ, обвивающійся около шхива, по оси котораго между прочимъ располагается обтачиваемая вещь, на примѣръ кусокъ дерева; вещь эта вертится около оси шхива, а человѣкъ держитъ въ рукѣ рѣзецъ, который и снимаетъ съ дерева частицы, выдающіяся за искомую поверхность. Спротивленіе здѣсь дѣйствуетъ постоянно, безъ перерывовъ; но сила движущая машину, т.-е. давленіе ноги на педаль прерывается; оно дѣйствуетъ только втеченіи той половины оборота нижней оси, когда педаль подъ давленіемъ ноги опускается; еслибы не было на оси, съ которою соединена эта педаль, большаго тяжелаго колеса, то станокъ при подъемѣ педали непременно остановился бы вслѣдствіе постоянно дѣйствующаго сопротивленія и отсутствія движущей силы. Еслибы мы вздумали опять давленіемъ ноги на педаль привести станокъ въ движеніе, то онъ сталъ бы вертѣться въ противную сторону, что было бы совершенно неудобно для обточки. Чтобы избѣжать этого и въ тоже время уменьшить очевидныя невыгоды, проистекающія для

обработки отъ неровнаго хода станка, посажено на нижнюю ось маховое колесо, которое играетъ, слѣдовательно, въ этомъ примѣрѣ ту же самую роль, какъ въ предъидущемъ; оно представляетъ собою магазинъ, въ которомъ безъ чрезмѣрнаго ускоренія въ обращеніи вала машины накапливается работа двигателя, когда она больше работы расходуемой на преодоленіе сопротивленія. Затѣмъ, когда работа двигателя прекращается, то этотъ магазинъ и выдаетъ поглощенную имъ работу, посредствомъ которой преодолеваются сопротивленія, дѣйствующія въ этомъ случаѣ постоянно.

Эти два примѣра показываютъ важность и значеніе маховаго колеса въ двухъ случаяхъ, когда сопротивленіе дѣйствуетъ съ перерывами и когда сила дѣйствуетъ съ перерывами; оно также важно для машины и во всѣхъ тѣхъ случаяхъ, когда вообще работа силы и работа сопротивленія измѣняются періодически, такъ — что попеременно, то работа силы бываетъ больше; чѣмъ работа сопротивленій, то работа сопротивленій превосходитъ работу силы; маховое колесо служитъ складочнымъ мѣстомъ, въ которое во время перваго періода откладывается избытокъ работы доставляемой силою надъ работою расходуемою на сопротивленіе, — а втеченіи втораго періода изъ него пополняется

недостатокъ работы движущей силы относительно превосходящей ее работы сопротивлений. Такъ маховыя колеса необходимы во всѣхъ тѣхъ паровыхъ машинахъ съ вращательнымъ движеніемъ, въ которыхъ оно производится посредствомъ одного цилиндра съ однимъ кривошипомъ. Въ нихъ работа расходуемая сопротивленіемъ можетъ считаться совершенно постоянною; работа же доставляемая двигателемъ измѣняется; въ мертвыхъ точкахъ двигатель не производитъ никакой работы, ибо поршень, какъ мы знаемъ, останавливается; около мертвыхъ точекъ работа двигателя меньше, чѣмъ работа сопротивленія; около же точекъ расположенныхъ къ нимъ перпендикулярно, работа двигателя больше, чѣмъ работа сопротивленія; поэтому маховое колесо собираетъ въ себя запасъ работы, когда кривошипъ движется около середины размаха, и этотъ избытокъ работы расходуетъ, когда кривошипъ находится близъ мертвыхъ точекъ; при всемъ этомъ оно измѣняетъ свою скорость на весьма незначительную ея часть: ибо вслѣдствіе большой скорости точекъ лежащихъ въ ободѣ колеса далеко отъ оси, увеличеніе скорости на очень небольшую ея часть, напр. на  $\frac{1}{30}$  долю, составляетъ уже очень значительное ускореніе и требуетъ значительнаго избытка работы двигателя

надъ работою сопротивленій, точно такъ же, какъ и уменьшеніе скорости на небольшую ея часть, напр. на  $\frac{1}{30}$  долю, составляетъ при большой средней скорости точекъ лежащихъ въ ободѣ колеса весьма замѣтное ихъ замедленіе, и потому требуетъ очень значительнаго избытка расходуемой работы, сравнительно съ работою доставляемою двигателемъ \*.

Приведенные здѣсь примѣры показываютъ, сколь важно бываетъ въ практикѣ удерживать машину въ равномерномъ движеніи или по-крайней-мѣрѣ ослаблять ее неравномѣрность; но кромѣ тѣхъ разсужденій, которыя встрѣчались при разсмотрѣніи приведенныхъ нами примѣровъ, есть еще многія другія соображенія, которыя побуждаютъ къ тому же.

На-самомъ-дѣлѣ:

1) Черезъ неравномѣрный ходъ машины мы ничего не выигрываемъ: ибо на сколько польза доставляемая машиною (работа полезныхъ сопро-

---

\* Въ случаѣ, если самое назначеніе паровой машины не позволяетъ устроить на ней маховаго колеса (какъ напр. въ локомотивѣ), то уравниваніе движенія производится тѣмъ, что валъ приводятъ въ обращеніе не одною машиною, но двумя, которыхъ кривошипы располагаются перпендикулярно одинъ къ другому, такъ-что когда работа передаваемая валу движущихъ колесъ одною машиною очень мала, то напротивъ, работа передаваемая тому же валу другою машиною достигаетъ своей наибольшей величины.

тивлений) больше, чѣмъ работа доставляемая двигателемъ при замедленіи хода машины, ровно на столько же она меньше этой работы при ускореніи движенія. А какъ ходъ машины постоянно замедляться не можетъ, то очевидно выигрыша отъ не-правильности въ ходѣ мы не получаемъ.

2) Было уже замѣчено на предъидущей лекціи, что давленіе, производимое двигателемъ на приѣмникъ, наибольшее, когда приѣмникъ не движется, когда его скорость нуль,—и что, напротивъ, давленіе производимое двигателемъ обращается въ нуль,—исчезаетъ, когда скорость приѣмника достигаетъ нѣкоторой опредѣленной величины,—именно когда приѣмникъ начинаетъ двигаться столь быстро, что протекая черезъ него двигатель идетъ точно такъ же, какъ еслибъ приѣмникъ не существовалъ вовсе. Изъ этого видно, что работа двигателя обращаясь въ нуль, когда приѣмникъ находится въ покоѣ, исчезаетъ и тогда, когда приѣмникъ достигаетъ нѣкоторой опредѣленной скорости. Между этими предѣльными величинами для скорости приѣмника двигатель доставляетъ ему нѣкоторую ускоряющую работу, которой величина зависитъ отъ скорости машины; понятно, что должна быть такая ея скорость, при которой работа двигателя больше, чѣмъ при всякой другой скорости:

эта-то скорость и будетъ наивыгоднѣйшею скоростью приѣмника: ибо при ней въ нашъ сосудъ съ водою будетъ вливаться наибольшее ея количество, а слѣд. мы можемъ больше ея также и расходовать на преодоленіе полезныхъ сопротивленій. Ясно, что нужно стараться, чтобы приѣмникъ по-возможности сохранялъ эту наивыгоднѣйшую скорость, — слѣд., *нужно заботиться о томъ, чтобы приѣмникъ двигался равномерно.*

3) Каждое производство требуетъ для успешности своего хода и для доброкачественности продуктовъ нѣкоторой опредѣленной скорости, которая относительно орудія будетъ наивыгоднѣйшею. Очевидно, должно стараться, чтобы орудіе постоянно сохраняло эту скорость, т.-е. *орудіе должно двигаться по-возможности равномерно.*

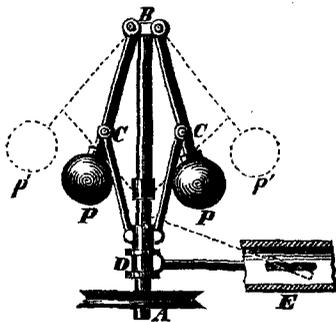
4) При равномерномъ движеніи всѣхъ частей машины, давленія ими испытываемыя и передаваемыя остаются постоянными, между-тѣмъ какъ при неравномерности хода машины они измѣняются становясь то больше, то меньше средней величины своей, которую имѣютъ когда машина идетъ равномерно съ своею среднею скоростью. А какъ размѣры частей машины должны быть рассчитаны такъ, чтобы онѣ прочно выдерживали *наибольшія* давленія, которыя имъ приходится передавать, то изъ этого и

слѣдуетъ, что размѣры частей машины имѣющей равномерное движеніе могутъ быть сдѣланы меньше, машина будетъ стоять дешевле, кромѣ-того она будетъ легче, давленія производимыя вѣсомъ ея частей на опоры будутъ меньше, и тренія, сдѣлавшись меньше, будутъ поглощать мѣншую часть работы двигателя и менѣе будутъ портить самую машину. Кромѣ-того при равномерномъ движеніи машины легче можно избѣжать толчковъ и соудареній между различными ея частями, которыя необходимо являются при неравномерномъ движеніи вслѣдствіе необходимыхъ зазоровъ въ мѣстахъ сочлененія. Удары же всегда безъ исключенія вредятъ, какъ полезному дѣйствию, производимому машиною, такъ и ея прочности.

Всѣ эти соображенія показываютъ совершенно ясно, сколь важно стараться о томъ, чтобы удерживать въ машинѣ равномерное движеніе, или по крайней-мѣрѣ по-возможности уменьшать степень неравномерности. Одно изъ средствъ для достиженія этой цѣли было объяснено въ самомъ началѣ лекціи: оно состоитъ въ соединеніи съ машиною быстро ходящей массы въ видѣ маховаго колеса; но маховое колесо хорошо можетъ служить для уравниванія движенія, когда, или вслѣдствіе особаго способа дѣйствія движущей силы, или

вслѣдствіе неровности сопротивленія, или наконецъ вслѣдствіе самаго устройства машины, — попеременно и правильно то работа силы превосходитъ работу сопротивленія, то наоборотъ.

Но для того, чтобы ослабить неравномерность движенія машины, происходящую отъ неправильныхъ, случайныхъ измѣненій въ напряженіи движущей силы или сопротивленія, употребляются другія средства: одно изъ наиболѣе часто встрѣчающихся есть такъ-называемый центробѣжный регуляторъ, или Ваттовъ коническій маятникъ, который можно видѣть при каждой фабричной паровой машинѣ. Въ-сущности приборъ этотъ состоитъ изъ вертикальнаго стержня, приводимаго въ обращеніе около своей оси самою машиною; въ одной точкѣ *B* этого стержня на шарнерахъ съ нимъ сочленяются два длинные



Черт. 51.

прута *BP*, на концахъ которыхъ укрѣплены два массивные шара *P* и *P'*, увлекаемые въ обращеніе стержнемъ около его оси. Выше точекъ укрѣпленія шаровъ *P* въ *C* и *C'* соч-

леняются съ прутьями *BP*, также на шарнерахъ, два другіе прута *CD*, которые соединяются другими

своими концами съ верхнею закраинной муфты  $D$ , могущей скользить по вращающемуся стержню. На шейку этой муфты свободно надѣто кольцо или вилка рычага  $DE$ , который или прямо, какъ на чертежѣ, или посредствомъ особой системы рычаговъ и тягъ, соединенъ съ уравнивающимъ приборомъ; этотъ послѣдній въ случаѣ паровой машины состоитъ изъ клапана, расположеннаго въ трубѣ, которою паръ приводится изъ котла въ цилиндръ; дѣйствіемъ этого клапана болѣе или менѣе закрывается и открывается проходъ для пара въ цилиндръ, и тѣмъ ослабляется или усиливается скорость машины.

Чтобы понять дѣйствіе прибора и тѣ начала, на которыхъ основывается опредѣленіе его размѣровъ, положимъ сначала, что вилка  $D$  рычага  $DE$  не лежитъ на муфтѣ, и замѣтимъ, что когда стержень вращается, то на шары  $P$  къ нему привѣшенные дѣйствуютъ двѣ силы: одна изъ нихъ будетъ вѣсъ шаровъ, стремящійся ихъ опустить; другая сила, называемая центробѣжною, происходитъ отъ того, что шары вслѣдствіе своей инерціи стремятся сохранить движеніе по прямой линіи, между тѣмъ какъ вслѣдствіе связи своей со стержнемъ они около него вращаются. Эта сила возрастаетъ въ той же мѣрѣ, какъ масса вращающихся шаровъ, увеличивается также съ увеличеніемъ ихъ угловой скорости, и съ увеличеніемъ

радіуса круга, котерый онѣ описываютъ. Сила эта постоянно стремится удалить шары отъ оси вращения; но какъ вслѣдствіе самаго устройства машины, шары не иначе могутъ удаляться отъ оси, какъ только поднимаясь въ то же время на известную высоту, то всѣ шаровъ, котерый, какъ замѣчено, стремится ихъ опустить, противодѣйствуетъ центробѣжной силѣ.

При известной скорости вращения вала, и при известномъ положеніи шаровъ, двѣ эти силы придутъ въ равновѣсіе, т.-е. поднимающее шары дѣйствіе центробѣжной силы будетъ равно опускающему эти шары дѣйствію вѣса, и тогда шары не будутъ ни опускаться, ни подниматься; если теперь шейку муфты обхватимъ вилкою *D*, которою оканчивается уравнивающій приборъ, наблюдая, чтобы она не давила ни на верхнюю, ни на нижнюю закраины муфты, то очевидно обстоятельства движенія регулятора ни мало не измѣнятся, и уравнивающій приборъ останется безъ дѣйствія до-тѣхъ-поръ, пока центробѣжная сила будетъ сохранять ту же самую величину, или иначе, пока скорость вращения прибора будетъ оставаться постоянною.

Посмотримъ, что будетъ, когда скорость вращения прибора увеличится; центробѣжная сила при этомъ станетъ больше, и такъ-какъ прежде ея подни-

мающее дѣйствіе уничтожалось вѣсомъ шаровъ, то теперь оно уже не уничтожится имъ; шары и соединенная съ ними муфта поднимутся подъ дѣйствіемъ избытка центробѣжной силы, но этотъ подъемъ будетъ продолжаться, пока нижняя закраина муфты не упрется въ вилку рычага уравнивающего прибора; тогда къ опускающему шары дѣйствію ихъ вѣса присоединится еще давленіе вилки на муфту, которое будетъ равно силѣ необходимой для того, чтобы она, дѣйствуя на вилку прямо вверхъ, могла уничтожить всѣ сопротивленія встрѣчаемыя уравнивающимъ приборомъ. Если центробѣжная сила вслѣдствіе ускоренія вращенія прибора увеличится до того, что будетъ въ состояніи уничтожить опускающія дѣйствія обѣихъ этихъ силъ, то муфта поднимется, приведетъ въ дѣйствіе уравнивающій приборъ, который, уменьшая доступъ двигателя къ пріемнику, тѣмъ самымъ замедлитъ ускоряющееся движеніе машины. Если же движеніе машины ускорится не до того, чтобы центробѣжная сила могла преодолѣть оба упомянутыя усилія (вѣсъ шаровъ; и давленіе вилки на муфту), то муфта, поднявшись нѣсколько, остановится отъ давленія на нее вилки; уравниющій приборъ останется въ покоѣ, и если обстоятельства произведшія ускореніе въ обращеніи машины не измѣнятся, то ус-

кореніе будетъ продолжаться пока центробѣжная сила не достигнетъ напряженія, при которомъ можетъ уравниваться и дѣйствіе вѣса шаровъ, и давленіе вилки: тогда только муфта поднимется и уравнивающій приборъ придетъ въ дѣйствіе. Легко примѣнить тѣ же самыя разсужденія и къ тому случаю, когда вращеніе прибора замедляется. Тогда шары опускаются подъ дѣйствіемъ вѣса, который беретъ верхъ надъ центробѣжною силою; но уравнивающій приборъ приходитъ въ дѣйствіе тогда только, когда при замедленіи движенія центробѣжная сила не ослабнетъ до такой степени, что вѣсъ шаровъ будетъ въ состояніи преодолѣть какъ ее, такъ и сопротивленіе уравнивающаго прибора. Чѣмъ тяжеле будутъ шары, тѣмъ быстрѣе будетъ увеличиваться, съ измѣненіемъ скорости, поднимающее и опускающее дѣйствіе центробѣжной силы и вѣса шаровъ, а слѣд. тѣмъ мѣньшее нужно будетъ ускореніе (или замедленіе), для того чтобы избытокъ центробѣжной силы надъ вѣсомъ (или на оборотъ) преодолѣлъ давленіе вилки на муфту, и слѣдовательно тѣмъ меньше будетъ возможная степень неравномѣрности машины. Вѣсъ шаровъ нерѣдко опредѣляютъ такимъ — образомъ, что отливаютъ ихъ пустые, и затѣмъ наполняютъ свинцомъ до тѣхъ — поръ, пока они при данномъ ускореніи въ

движеніи машины не начинаютъ производить свое уравнивающее дѣйствіе.

Оба указанная здѣсь средства—ослаблять степень неравномѣрности въ движеніи машины, суть самыя употребительныя; есть еще многіе другіе уравнители движенія, о которыхъ отчасти мы упоминали на VII лекціи говоря о часахъ, — гдѣ разбирали дѣйствіе крылатаго маховика и маятника. Изъ другихъ приборовъ служащихъ для этой цѣли, важнѣе прочихъ башмакъ и нажимный тормозъ; первый, останавливая вращеніе повозокъ при спускѣ съ крутыхъ горъ, возбуждаетъ столь сильное скользящее треніе между колесомъ и дорогою, что оно поглощаетъ всю работу доставляемую вѣсомъ экипажа. Нажимный тормозъ производитъ подобное же дѣйствіе; онъ состоитъ изъ подушки, которая можетъ быть очень плотно прижата къ колесу и возбудить сильное треніе между поверхностію колеса и самою подушкою. Вращеніе колеса будетъ продолжаться до-тѣхъ-поръ, пока треніе между подушкою и колесомъ не сдѣлается равно скользящему тренію колеса о дорогу; тогда колесо перестанетъ ворочаться и начнетъ скользить по дорогѣ. Подобные нажимы употребляются нерѣдко для того, чтобы останавливать машины (напр. въ вѣтреныхъ мельницахъ) и вообще въ тѣхъ случаяхъ, если

движущія силы получаютъ на время значительный перевѣсъ надъ сопротивленіями.

Вотъ краткое понятіе о средствахъ коими стараются уменьшить неравномѣрность движенія въ машинахъ; посмотримъ же теперь, при какихъ условіяхъ, при какомъ отношеніи между силою и преодолеваемыми сопротивленіями ходъ машины можетъ быть равномеренъ. Для этого нужно, чтобы уровень воды въ сосудѣ оставался постояннымъ; слѣд. нужно, чтобы въ этотъ сосудъ вливалось столько воды, сколько изъ него выливается, то есть—сумма работъ доставляемыхъ движущими силами, должна постоянно равняться суммѣ работъ всѣхъ сопротивленій; положимъ сначала, что всѣ машины не имѣетъ непосредственнаго вліянія на ея ходъ, то—есть, что центр тяжести машины или остается неподвижнымъ, или не перемѣщается по вертикальному направленію. Тогда при равномерномъ ходѣ машины, работа движущихъ силъ должна равняться работѣ полезныхъ сопротивленій, сложенныхъ съ работою вредныхъ сопротивленій, а слѣдовательно *полезная работа, произведенная въ какое ни есть время такою машиною, будетъ всегда равна работѣ доставленной въ то же время движущими силами безъ работы израсходованной на вредныя сопротивленія.* Въ этомъ и будетъ состоять условіе равномернаго

хода машины; оно известно въ механикѣ подъ названіемъ *закона передачи работы*, и можетъ быть съ небольшимъ измѣненіемъ примѣнено и къ тѣмъ машинамъ, которыхъ центръ тяжести при движеніи перемѣщается по вертикальному направленію. На-самомъ-дѣлѣ въ подобныхъ машинахъ работа вѣса есть нуль не для какого угодно времени, а для того періода, втеченіи котораго центръ тяжести возвращается на прежнюю высоту надъ горизонтомъ. Слѣдовательно, для такихъ машинъ въ случаѣ равномернаго ихъ хода законъ передачи работъ выразится такимъ-образомъ: *полезная работа, произведенная машиною въ періодъ времени, втеченіи котораго центръ тяжести возвращается на прежнюю высоту надъ горизонтомъ, равна работъ доставленной движущими силами безъ работъ израсходованной на вредныя сопротивленія.*

Наконецъ въ случаѣ, если машина имѣетъ периодическое движеніе, и въ концѣ каждаго періода центръ тяжести находится на той же высотѣ, какъ и въ началѣ періода, мы безъ труда увидимъ, что законъ передачи работъ представится въ слѣдующемъ видѣ: *полезная работа произведенная машиною втеченіи періода, равна работъ достав-*

*ленной движущими силами безъ работы, израсходованной на вредныя сопротивленія.*

Чтобы пояснить законъ передачи работы и его употребленіе, мы приложимъ его теперь къ нѣкоторымъ простѣйшимъ машинамъ. Чтобы притомъ получить возможно-простые результаты, мы пренебрежемъ вредными сопротивленіями, и положимъ, что центръ тяжести машинъ остается постоянно на одной и той же высотѣ надъ горизонтомъ; тогда законъ передачи работъ выразится такимъ-образомъ: *работа движущей силы должна равняться работѣ сопротивленія.* Но работу всякой силы можно представить, какъ мы говорили, въ видѣ объема призмы воды имѣющей своимъ основаніемъ площадь, соразмѣрную съ величиною силы, а высотой путь проходимый по направленію силы \* точкою ея приложенія; чтобы объемы двухъ такихъ призмъ были равны, нужно, очевидно, чтобы въ случаѣ равныхъ высотъ были равны между собою и основанія

---

\* Въ слѣдующихъ за симъ приложеніяхъ можно будетъ постоянно полагать, что точка приложенія силы движется по направленію самой силы; поэтому мы будемъ говорить просто—*путь точки*, вмѣсто—*путь точки взятый по направленію силы*; или относя все къ 1", вмѣсто: *путь точки*, будемъ говорить: *скорость точки*. Гдѣ сказанное допущеніе будетъ несправедливо, тамъ мы возвратимся опять къ точному способу выражаться.

призмъ; въ случаѣ же если высоты призмъ не равны, то для равенства объемовъ необходимо, чтобы основаніе призмы съ бѣльшею высотой было ровно во столько разъ меньше, чѣмъ основаніе призмы съ мѣньшею высотой, во сколько разъ высота послѣдней меньше, чѣмъ высота первой призмы. Поэтому для равенства работъ двухъ силъ необходимо, чтобы въ случаѣ равныхъ скоростей точекъ ихъ приложенія, сами силы были между собою равны; въ случаѣ же неравенства скоростей точекъ приложенія силъ, сами силы будутъ неравны; сила, которой точка приложенія движется медленнѣе, будетъ больше, чѣмъ сила, которой точка приложенія идетъ быстрѣе, и притомъ первая сила во столько разъ больше второй, во сколько разъ медленнѣе сравнительно со второю движется точка ея приложенія. Поэтому въ машинахъ, которыя мы разбираемъ, сила употребляемая на преодоленіе извѣстнаго сопротивленія во столько разъ должна быть больше или меньше, чѣмъ это сопротивленіе, во сколько разъ скорость точки его приложенія бѣльше или меньше, чѣмъ скорость точки приложенія силы. Это начало выражаютъ часто такъ: *преобразуя посредствомъ машины дѣйствіе силы, мы выигрываемъ въ силѣ ровно столько, сколько теряемъ въ скорости, и*

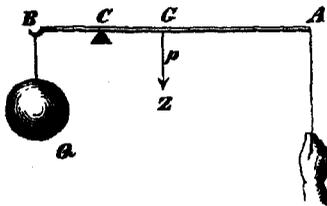
*наоборотъ, сколько выигрываемъ въ скорости, столько же теряемъ въ силѣ.*

Это начало совершенно справедливо, но должно помнить, что оно примѣняется только къ равномерному движенію машинъ, и притомъ выведено, предполагая, что нѣтъ вредныхъ сопротивленій; въ дѣйствительности, вслѣдствіе вліянія этихъ сопротивленій нашъ проигрышъ въ силѣ при передачѣ ея черезъ машину всегда больше, чѣмъ выигрышъ въ скорости, и наоборотъ—выигрышъ въ силѣ всегда меньше, чѣмъ проигрышъ въ скорости. Въ случаѣ же неравномернаго хода машинъ, а именно при замедленіи ихъ движенія, выигрышъ будетъ больше проигрыша потому, что на преодоленіе сопротивленія будетъ расходоваться не только та работа, которая *въ то же время* доставляется движущею силою, но и часть работы, *прежде* скопившейся въ машинѣ и израсходованной силою на сообщеніе ей той скорости, съ которою она дѣйствительно ходитъ. Напротивъ, въ то время какъ машина ускоряетъ движеніе, выигрышъ всегда меньше проигрыша потому, что работа двигателя не вся идетъ на преодоленіе сопротивленій; часть ея поглощается машиною и употребляется на ускореніе ея движенія.

Послѣ этихъ замѣчаній вообще не трудно найти

условіе равномернаго движенія машинъ; \* правило, которому при этомъ нужно будетъ слѣдовать, состоитъ въ слѣдующемъ: разсмотрите, гдѣ приложена къ машинѣ сила, и гдѣ приложено сопротивленіе; затѣмъ отъищите, сколько проходитъ точка приложенія силы въ ту пору, какъ точка, въ которой приложено сопротивленіе проходитъ какой ни есть путь, назначенный вами по произволу. Во сколько разъ найденный путь силы больше, чѣмъ путь сопротивленія, во столько же разъ сила должна быть меньше, чѣмъ сопротивленіе.

*Рычагъ.* Приложение этого правила весьма просто; возьмемъ для перваго примѣра обыкновенный рычагъ, напр. тотъ, который представленъ на черт. 65; положимъ, что этотъ рычагъ имѣетъ неподвижную точку въ *C*; въ *B* къ нему привѣшенъ



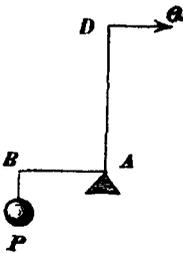
Черт. 65.

грузъ *Q*, напр. въ 8 фунтовъ; спрашивается, какая сила нужна въ *A* для того, чтобы удержать рычагъ въ равномерномъ движеніи, или въ равновѣсіи. Въ этомъ случаѣ путь проходимый точкою

*A* будетъ во столько разъ больше, чѣмъ путь,

\* Уже выше замѣчено, что это условіе совпадаетъ съ условіемъ равновѣсія, покоя машинъ.

проходимый въ то же время точкою  $B$ , во сколько разъ плечо  $AC$  больше, чѣмъ плечо  $CB$ ; а слѣдовательно сила приложенная въ  $A$  должна быть во столько же разъ меньше, чѣмъ грузъ  $Q=8$  фунтамъ, во сколько разъ плечо  $AC$ , на которомъ дѣйствуетъ эта сила, больше чѣмъ плечо  $BC$ , на которомъ дѣйствуетъ грузъ въ 8 фунтовъ; если напримѣръ плечо  $AC$  вчетверо больше чѣмъ  $BC$ , то и сила, которая будучи приложена въ  $A$  преодолеваетъ сопротивленіе въ 8 фунтовъ, дѣйствующее въ точкѣ  $B$ , должна быть въ 4 раза меньше 8 фунтовъ, т.-е. должна составлять 2 фунта. На этомъ основаніи весьма часто употребляются въ общежитіи неравноплечіе рычаги въ тѣхъ случаяхъ, когда требуется произвести небольшое передвиженіе, которому представляются весьма значительныя сопротивленія; тогда передвигаемый предметъ (въ предъидущемъ примѣрѣ грузъ) соединяютъ съ короткимъ плечомъ рычага и дѣйствуютъ небольшимъ



Черт. 66.

усиліемъ на длинное его плечо; предметъ и получаемъ искомое перемѣщеніе.

То же начало справедливо и для ломаннаго рычага, какъ напримѣръ для изображеннаго на черт. 66., если только объ

силы дѣйствуютъ перпендикулярно къ плечамъ рычага. Это же объясняетъ, почему наиримѣрь мы безъ труда можемъ клещами, соединенными съ молоткомъ, вытащить крѣпко сидящій гвоздь, между-тѣмъ какъ, для того чтобы его вытащить прямыми клещами, нужно значительное усиліе. употребле-



Черт.. 67.

леніе рычага весьма обширно; тотъ рычагъ, который изображенъ на черт. 65, называется рычагомъ *перваго рода*; въ немъ точка опоры лежитъ между силою и сопротивленіемъ; если точка опоры лежитъ на концѣ рычага, а слѣдовательно сила и сопротивленіе приложены по одну и ту же сторону точки опоры, то рычагъ получаетъ названіе рычага *втораго* или *третьяго* рода, смотря потому, что лежитъ ближе къ точкѣ опоры—сопротивленіе или сила. Рычагъ *втораго* рода употребляется для преодоленія большихъ сопротивленій посредствомъ незначительныхъ силъ, слѣдовательно, тогда, когда мы можемъ распоряжаться незначительнымъ усиліемъ, могущимъ проходить довольно большое пространство. Обыкновенныя ножницы кровельщиковъ, употребляемая для рѣзки желѣза, есть рычагъ *втораго* рода. Весло есть также рычагъ *втораго* рода: въ немъ точку опоры представляетъ

вода, въ которую упирается весло своимъ концомъ, движимый предметъ, т.-е. точка приложенія сопротивленія, есть бортъ лодки; наконецъ точку приложенія силы составляетъ другой конецъ весла, находящійся въ рукахъ гребца. Обыкновенная тачка, въ которой человекъ можетъ съ незначительнымъ усиленіемъ поддерживать большой грузъ, есть также рычагъ втораго рода.

Рычагъ третьяго рода употребляется преимущественно въ тѣхъ случаяхъ, когда движущая сила можетъ быть развита въ избыткъ, но поставлена въ такія обстоятельства, что не можетъ проходить значительнаго пространства. Примѣры этого рычага встрѣчаются очень часто въ нашемъ собственномъ тѣлѣ; наша рука, наша челюсть, суть рычаги третьяго рода.

Рычагъ перваго рода имѣетъ весьма многоразличныя приложенія; но одинъ изъ важнѣйшихъ приборовъ, въ которыхъ примѣняется этотъ рычагъ, есть *вѣсы*; приборъ этотъ служитъ, какъ извѣстно, для опредѣленія усилій, побуждающихъ различныя тѣла къ паденію. Коромысло вѣсовъ есть равноплечій рычагъ, который можетъ придти въ равновѣсіе безъ дѣйствія постороннихъ силъ только тогда, когда центръ его тяжести расположится на одной вертикальной прямой съ точкою опоры

(лекція XI). Очевидно, можно при устройствѣ коромысла расположить массу его составляющую такимъ-образомъ, чтобы центръ тяжести находился на одной вертикальной прямой съ точкою опоры, именно тогда, когда линія соединяющая точки привѣса чашекъ будетъ горизонтальна. Положимъ, что коромысло такъ и устроено; если затѣмъ положимъ на обѣ чашки по грузу, то для равновѣсія равноплечаго рычага будетъ необходимо, чтобы оба груза были между собою равны \*. Въ случаѣ если они не равны, равновѣсія быть не можетъ; слѣдовательно, если положимъ на одну чашку взвѣшиваемое тѣло, а на другую будемъ класть гири до-тѣхъ-поръ, пока не установится равновѣсіе, то вѣсъ тѣла долженъ быть равенъ вѣсу гирь.

Разсмотримъ теперь, какое вліяніе будутъ имѣть на точность и удобство взвѣшиванія различныя свойства нашего прибора, а именно: положеніе центра тяжести коромысла, его вѣсъ и длина его плечъ.

---

\* На-самомъ-дѣлѣ для равновѣсія машины необходимо, чтобы работа ускоряющихъ силъ была равна работѣ замедляющихъ; но работа вѣса коромысла при указанномъ расположеніи прибора есть нуль: ибо центръ тяжести, выходя изъ покоя, долженъ идти по горизонтальному направленію; слѣдовательно, ускоряющая сила будетъ одинъ изъ грузовъ, а замедляющая,—другой; пути ими проходимые въ одно и то же время равны; слѣдовательно, для равенства работъ необходимо, чтобы и грузы были равны.

Мы сказали, что при равновѣсіи коромысла центр тяжести долженъ находиться на одной вертикальной прямой съ точкою опоры. Но онъ можетъ лежать или выше точки опоры, или совпадать съ нею, или лежать ниже ея; первое расположеніе, какъ легко можно убѣдиться, весьма неудобно; на-самомъ-дѣлѣ пусть какое-нибудь случайное уси-ліе вывело центръ тяжести изъ его равновѣснаго положенія, такъ-что онъ теперь находится въ по-коѣ, но не стоитъ прямо надъ точкою опоры, и разсмотримъ, какое дѣйствіе произведетъ вѣсъ тѣла; для коромысла возможны два перемѣщенія: одно, вслѣдствіе котораго центръ тяжести придетъ въ прежнее положеніе, и другое, при которомъ центръ тяжести будетъ все болѣе-и-болѣе удаляться отъ него. При первомъ перемѣщеніи центръ тяжести долженъ подняться: слѣд. работа вѣса будетъ замедляющая, а какъ теперь коромысло находит-ся въ покоѣ, то этого перемѣщенія оно не полу-чить; при второмъ перемѣщеніи работа вѣса будетъ ускоряющая, слѣд. центръ тяжести подъ вліяніемъ только одного своего вѣса получитъ это перемѣще-ніе, и слѣд. коромысло опрокинется, постепенно уско-ряя свое движеніе до тѣхъ поръ, пока центръ тяжести не станетъ прямо подъ точкою опоры. Съ этого мгновенія работа вѣса будетъ уже замедляющею,

ибо при дальнѣйшемъ вращеніи коромысла, центръ его тяжести долженъ подниматься, и слѣдствіемъ всего будетъ то, что коромысло начнетъ колебаться около того положенія, при которомъ центръ тяжести занимаетъ свое самое нижнее положеніе.

Если центръ тяжести коромысла совпадаетъ съ точкою опоры, то этого не будетъ; но зато коромысло будетъ въ равновѣсіи при всякомъ своемъ положеніи, а не только при горизонтальномъ; на-самомъ-дѣлѣ для равновѣсія нужно только равенство между работами замедляющихъ и работами ускоряющихъ силъ; но здѣсь эти работы будутъ при всякомъ положеніи коромысла равны: ибо вслѣдствіе неподвижности центра тяжести, работа вѣса всего тѣла есть нуль, т.-е. работа ускоряющихъ силъ тяжести дѣйствующихъ на опускающіяся частицы коромысла, равна работѣ замедляющихъ силъ тяжести, дѣйствующихъ на поднимающіяся его части. Такое устройство также неудобно; на-самомъ-дѣлѣ какъ-только на одну изъ чашекъ вѣсовъ положимъ нѣсколько бѣльшой грузъ, чѣмъ на другую, то ускоряющая работа бѣльшого груза станетъ больше замедляющей работы мѣньшого, и какъ вѣсъ прибора не будетъ имѣть вліянія на его движеніе, то коромысло начнетъ вращаться, причемъ бѣльше нагруженная чашка будетъ опускаться, такъ, что вѣсы могутъ придти въ рав-

новѣсіе тогда только, когда болѣе нагруженная чашка расположится прямо подъ точкою опоры.

Оба весьма важныя, только — что объясненныя неудобства исчезаютъ совершенно, если центръ тяжести коромысла при горизонтальномъ его положеніи располагается прямо *подъ* точкою опоры; на-самомъ-дѣлѣ:

1) Какъ только случайное усиліе выведетъ коромысло изъ его горизонтальнаго положенія, — оно тотчасъ подъ дѣйствіемъ своего вѣса возвращаетъ ся къ этому положенію: ибо при возвращеніи центръ тяжести коромысла будетъ опускаться.

2) Если на одну изъ чашекъ положимъ даже значительно бѣльшую тяжесть, чѣмъ на другую, то коромысло, отклонившись отъ своего горизонтальнаго положенія на нѣкоторый уголъ, остановится и не перевернется, а потому постепенное уравновѣшеніе обоихъ грузовъ, привѣшенныхъ къ коромыслу, можно будетъ произвести гораздо легче. На-самомъ-дѣлѣ: если на одну изъ чашекъ горизонтально стоящаго коромысла положимъ бѣльшій грузъ, чѣмъ на другую, то этотъ грузъ, доставляя бѣльшую ускоряющую работу, чѣмъ другой меньшій грузъ, въ началѣ перетянетъ коромысло на свою сторону и станетъ опускаться; но какъ — только коромысло выйдеть изъ горизонтальнаго положенія, его вѣсъ начнетъ

доставлять замедляющую работу, потому-что центр тяжести коромысла станетъ подниматься. Эта замедляющая работа для одного и того же углового перемѣщенія будетъ становиться притомъ все больше-и-больше, потому-что направленіе движенія центра тяжести все болѣе-и-болѣе будетъ приближаться къ вертикальному, — между-тѣмъ ускоряющая работа избытка груза, лежащаго на одной чашкѣ, будетъ все болѣе-и-болѣе уменьшаться, потому-что направленіе движенія той точки, въ которой приложенъ грузъ, все болѣе-и-болѣе приближается къ горизонтальному; наконецъ если представимъ коромысло въ вертикальномъ положеніи, то работа вѣса коромысла будетъ самая большая, а работа избытка груза будетъ нулемъ. Поэтому мы видимъ, что

а) При горизонтальномъ положеніи коромысла работа избытка груза лежащаго на одной чашкѣ больше, чѣмъ работа вѣса коромысла, причемъ послѣдняя работа есть нуль.

б) При вертикальномъ положеніи коромысла, работа избытка въ грузѣ меньше, чѣмъ работа вѣса коромысла, и притомъ первая работа есть нуль.

Отсюда слѣдуетъ, что будетъ нѣкоторое положеніе коромысла промежуточное между горизонтальнымъ и вертикальнымъ, при которомъ работа

избытка груза и работа вѣса коромысла будутъ другъ другу равны. Въ этомъ положеніи коромысло можетъ оставаться въ покоѣ, и слѣд. весь приборъ будетъ колебаться около этого положенія.

Итакъ для удобства взвѣшиванія необходимо, чтобы центръ тяжести коромысла при горизонтальномъ его положеніи лежалъ ниже точки опоры. Но на сколько онъ долженъ лежать ниже этой точки? Чтобы рѣшить вопросъ, вообразимъ себѣ два коромысла  $AB$  и  $ab$  одинаковаго вѣса и длины, но въ одномъ центръ тяжести  $C$  лежитъ ниже точки опоры  $D$  на линію  $CD$  вчетверо бѣльшую, чѣмъ длина  $cd$ , представляющая разстояніе центра тяжести втораго коромысла отъ точки опоры; вообразимъ, что оба коромысла, подѣ дѣйствіемъ избытковъ груза, приложенныхъ къ концамъ  $A$  и  $a$ , повернулись на одинаковые углы  $ADA' = ada'$ ; легко видѣть, что въ первомъ коромыслѣ. центръ тяжести поднялся на линію  $CE$  вчетверо бѣльшую, чѣмъ подъемъ  $ce$  центра тяжести другаго коромысла, а также и при дальнѣйшемъ вращеніи будетъ подниматься на высоту постоянно вчетверо бѣльшую, чѣмъ во второмъ коромыслѣ. Слѣд. замедляющая работа вѣса при одинаковомъ положеніи коромыслъ будетъ для перваго вчетверо бѣльше, чѣмъ для втораго; а потому избытокъ груза, производящій оди-

наковое отклоненіе отъ горизонта обоихъ коромысль будетъ для перваго прибора вчетверо больше, чѣмъ для втораго. А слѣд. первые вѣсы будутъ вчетверо менѣе чувствительны, чѣмъ вторые, такъ—что чувствительность вѣсовъ тѣмъ больше, чѣмъ ближе къ точкѣ опоры лежитъ ихъ центръ тяжести.

Что касается до вѣса прибора, то ясно, что чѣмъ онъ тяжеле, тѣмъ менѣе чувствительны вѣсы, такъ—что если примемъ за мѣру нечувствительности вѣсовъ избытокъ груза на одной чашкѣ, нужный для того, чтобы отклонить коромысло отъ горизонтальнаго положенія, наприм. на  $5^{\circ}$ , то увидимъ, что съ увеличеніемъ вдвое, втрое и т. д. или вѣса прибора или разстоянія его центра тяжести отъ точки опоры, чувствительность его уменьшается также вдвое, втрое и т. д.

Наконецъ совершенно ясно, что чѣмъ длиннѣе плеча коромысла, тѣмъ бóльшій путь проходитъ производящій ускоряющее дѣйствіе избытокъ груза, лежащаго на одной чашкѣ при томъ же углѣ вращенія коромысла; слѣд., чѣмъ длиннѣе плечо коромысла, тѣмъ мѣншій избытокъ груза нуженъ для того, чтобы произвести ту же ускоряющую работу, и слѣд. произвести то же отклоненіе коромысла. Изъ этого слѣдуетъ, что мы имѣемъ три средства увеличи-

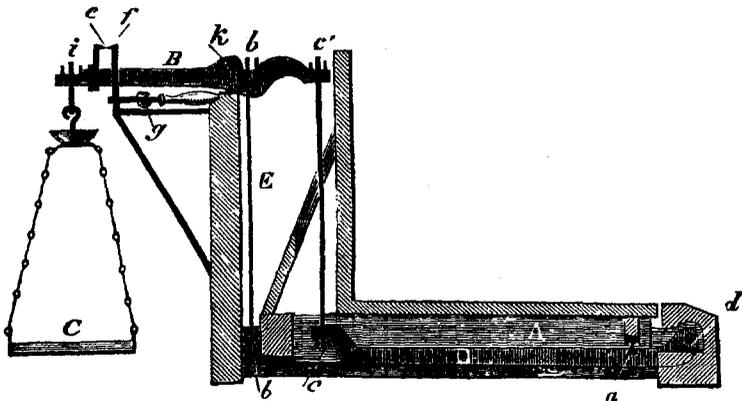
вать чувствительность вѣсовъ, именно для этого можно уменьшать вѣсъ коромысла, приближать центръ тяжести къ точкѣ опоры и увеличивать длину плечъ коромысла.

Замѣтимъ еще, что взвѣшиваніе не иначе можетъ доставить вѣрныя результаты, какъ только въ томъ случаѣ, если плеча коромысла оба совершенно между собою равны; если плечо, на которое кладемъ взвѣшиваемый предметъ, длиннѣе, то находимый посредствомъ прибора вѣсъ будетъ болѣе истиннаго; онъ будетъ менѣе истиннаго въ томъ случаѣ, когда плечо гирь будетъ длиннѣе. Но и помощію невѣрныхъ вѣсовъ можно совершенно точно опредѣлить вѣсъ тѣла слѣдующимъ образомъ: положите на одну изъ чашекъ взвѣшиваемое тѣло, на другую же кладите мелкія гири, насыпайте песку, прибавляйте бумажекъ и т. д., пока вѣсы не придутъ въ равновѣсіе въ какомъ нибудь опредѣленномъ положеніи. Затѣмъ снимите ваше тѣло съ первой чашки и кладите туда гири, пока вѣсы снова не придутъ въ равновѣсіе въ томъ же самомъ положеніи. Эти гири и представляютъ вамъ искомый вѣсъ тѣла, какъ это ясно уже и изъ того, что здѣсь двѣ силы, вѣсъ гирь и искомый вѣсъ тѣла производятъ совершенно одинаковыя дѣйствія, а именно удерживаютъ приборъ въ равновѣсіи въ одномъ и

томъ же положеніи. Этотъ способъ точно опредѣ-  
лять вѣсъ тѣла посредствомъ неточныхъ прибо-  
ровъ, называется двойнымъ взвѣшиваніемъ, потому-  
что здѣсь операція повторяется два раза.

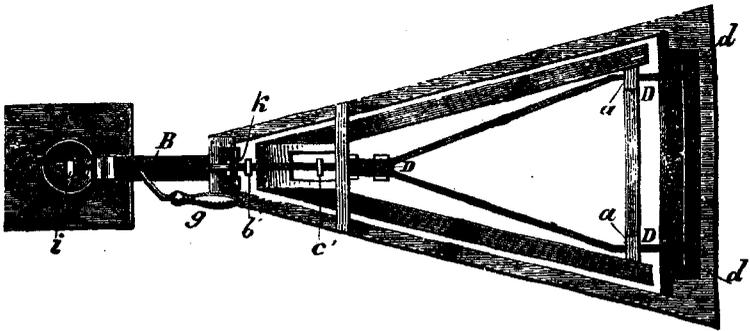
Равноплечіе вѣсы, которые мы теперь рассмат-  
ривали, при взвѣшиваніи большихъ грузовъ неудобны  
тѣмъ, что каждый разъ нужно класть на чашку  
вѣсовъ гири, вѣсъ которыхъ равенъ опредѣляемому  
вѣсу тѣла; чтобы избѣжать этого неудобства, уст-  
раиваютъ такъ-называемые децимальные или де-  
сятичные вѣсы, въ которыхъ плечо, на которомъ  
дѣйствуютъ гири въ десять разъ больше плеча,  
на которомъ дѣйствуетъ грузъ взвѣшиваемаго тѣла:  
тогда вѣсъ гирь, нужныхъ для уравновѣшенія груза  
въ 10 разъ меньше, чѣмъ вѣсъ самага груза.

Весьма употребительное устройство этихъ вѣ-  
совъ изображено на черт. 68, который изображаетъ



Черт. 68.

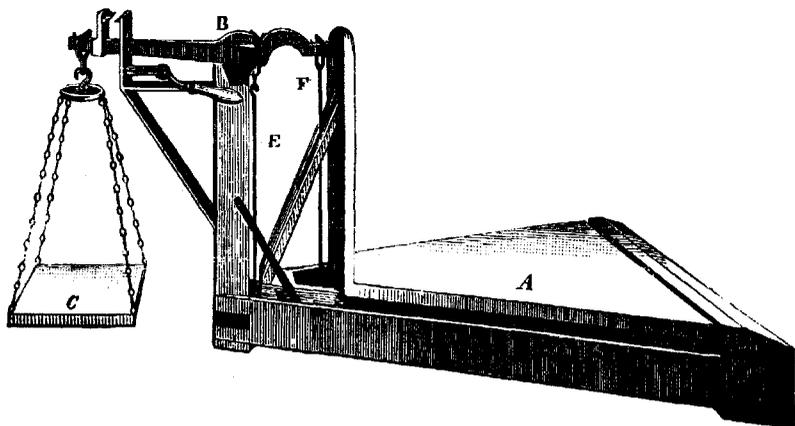
собою разръзъ децимальныхъ часовъ.  $k$  есть точка опоры;  $ikb'c'$  коромысло, котораго плечо  $ik$  въ 10 разъ больше чѣмъ  $kb'$ ; въ  $i$  привѣшена чашка для гирь, а въ  $b'$  спускается вертикально тяга  $E$ , соединяющаяся въ  $b$  съ платформою, на которую кладутъ взвѣшиваемое тѣло; въ точкѣ  $c'$ , спускается другая вертикальная тяга  $c's$ , соединяющаяся въ  $c$  съ особою вилкою  $DDD$  (черт. 69). Эта вилка опирается ножомъ  $d$  и можетъ около него вращаться; на ней же утверждёнъ ножъ  $aa$ , около котораго можетъ обращаться платформа съ грузомъ; эти ножи расположены такъ, что во сколько разъ  $b'k$  меньше, чѣмъ  $c'k$ , во столько же разъ  $ad$  меньше



Черт. 69.

чѣмъ  $dc$ ; слѣдствіемъ такого расположенія будетъ то, что вся часть платформы, лежащая на ножѣ  $a$ , будетъ опускаться внизъ на столько же, на сколько опускается ея точка непосредственно соединенная

съ  $b$ ; на-самомъ-дѣлѣ пусть  $b'$ , а слѣд. и  $b$  опустилось на дюймъ, и пусть  $c'k$  въ 5 разъ длиннѣе  $b'k$ , а потому и  $cd$  въ 5 разъ длиннѣе  $ad$ ;  $c'$  и вмѣстѣ съ нимъ  $c$  опустится на 5 дюймовъ; но  $c$  стоитъ отъ оси  $d$  въ 5 разъ дальше чѣмъ  $a$ ; слѣд.  $a$  опустится на величину въ 5 разъ мѣньшую, или на одинъ дюймъ; вслѣдствіе-того вся часть платформы, лежащая на ножѣ  $a$ , будетъ опускаться на одинъ дюймъ, а потому и вся платформа при пониженіи точки  $b'$  опустится на столько же, на сколько опустится эта точка; а изъ того слѣдуетъ,



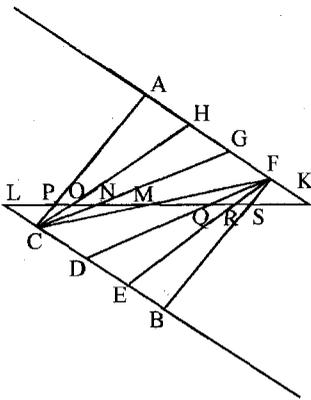
Черт. 70.

что на какую бы точку платформы мы ни положили взвѣшиваемый грузъ, онъ будетъ при равновѣсіи прибора играть ту же роль, какъ, будто бы онъ былъ привѣшенъ прямо къ точкѣ  $b'$ , а какъ

плечо  $b'k$  этой точки въ 10 разъ меньше, чѣмъ плечо  $ik$  гирь, то для уравновѣшенія на этихъ вѣсахъ 10 пудовъ потребно гирь одинъ пудъ.

Для быстраго взвѣшиванія употребляется иногда также неравноплечій рычагъ въ видѣ безмена; онъ представляетъ собою брусъ, на одномъ концѣ котораго виситъ чашка или крюкъ — для взвѣшиваемыхъ грузовъ, а на другомъ находится довольно значительная тяжесть, вслѣдствіе которой центръ тяжести всего прибора лежитъ очень близко къ тому концу бруса, къ которому эта тяжесть укреплена. Вдоль бруса можетъ скользить петля, удерживая которую рукою, можно вѣсъ тѣла висящаго на крюкѣ уравновѣситъ вѣсомъ самаго безмена, который можно разсматривать какъ одну силу, приложенную въ центрѣ тяжести безмена; очевидно, что если опредѣляемый вѣсъ равенъ вѣсу безмена, то равновѣсіе рычага можетъ быть только тогда, когда петля стоитъ по срединѣ, между крюкомъ и центромъ тяжести. Если взвѣшиваемый грузъ вдвое больше вѣса безмена, то равновѣсіе будетъ тогда, когда петля, составляющая теперь точку опоры, лежитъ къ крюку вдвое ближе, чѣмъ къ центру тяжести, и т. д. На основаніи этого легко на безмень нанести дѣленія и написать цифры, которыя бы показывали, какъ великъ грузъ висящій

на крюкъ, когда для его уравновѣшенія нужно петлю безмена поставить на известное дѣленіе. Вотъ общее правило, которое можетъ служить для этой цѣли. Опредѣлите прежде всего центр тяжести *K* пустаго безмена, для чего посредствомъ попытокъ поставьте петлю такъ, чтобы безмень находился въ равновѣсїи; затѣмъ проведите черезъ центр тяжести *K* произвольную прямую *KA*, и чрезъ точку *L* привѣса грузовъ параллельную ей линію *LB*; затѣмъ отложите на *KA* равныя между собою части *KF*, *FG*, *GH*, *HA*, и на *LB* так-



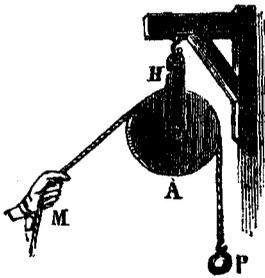
Черт. 71.

же равныя имъ части *LC*, *CD*, *DE*, *EB*; затѣмъ соедините точку *C* съ *F*, съ *G*, съ *H*, съ *A*, и т. д. и точку *F* съ *C*, съ *D*, съ *E*, съ *B*, и пр. Замѣтьте пересѣченія *M*, *N*, *O*, *P*, *Q*, *R*, *S* проведенныхъ такимъ-образомъ прямыхъ съ направленіемъ *KL* безмена. Когда петля будетъ въ *M*, то взвѣшиваемый грузъ равенъ вѣсу безмена; ибо по

равенству треугольниковъ *LCM* и *KFM*, имѣющихъ равныя углы и по равной сторонѣ *FK* и *LC* будетъ  $LM = KM$ , т.-е. точка *M* будетъ по срединѣ безмена

точка  $N$  будетъ вдвое ближе къ  $L$ , чѣмъ къ  $K$ : ибо вслѣдствіе подобія треугольниковъ  $LCN$  и  $KGN$ , изъ которыхъ второй имѣетъ сторону  $KG$  вдвое большую чѣмъ  $LC$ , будетъ также  $KN$  вдвое больше, чѣмъ  $LN$ ; точно также докажемъ, что  $LP$  вчетверо меньше чѣмъ  $KP$  и т. д., а потому когда рычагъ уравновѣшивается въ ту пору, какъ петля стоитъ въ  $P$ , плечо взвѣшиваемаго груза вчетверо меньше, чѣмъ плечо, на которомъ дѣйствуетъ вѣсъ безмена; а слѣд. самый грузъ вчетверо больше, чѣмъ вѣсъ безмена.

*Блоки и ихъ соединенія* Въ практикѣ для передачи прямолинейнаго движенія весьма часто употребляется блокъ, представляющій собою неподвижную вилку (обойму), въ которой утверждена ось небольшого колеса съ жолобомъ по окружности;



Черт. 72.

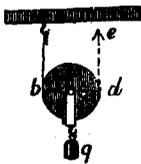
въ этомъ жолобѣ помещается шнуръ; на одинъ конецъ его дѣйствуетъ преодолеваемое сопротивленіе (поднимаемый грузъ), а другой вытягивается силою, производящею подъемъ; чтобы подъемъ происходилъ равномерно,

нужно чтобы работа силы равнялась работѣ сопро-

тивленія; но какъ очевидно одинаковая длина веревки со стороны груза взойдетъ, а со стороны силы сойдетъ съ блока, то пути проходимые силою и сопротивленіемъ будутъ между собою равны, а потому для равенства работъ необходимо, чтобы сила была равна поднимаемому грузу; въ дѣйствительности сила конечно должна быть нѣсколько больше сопротивленія, ибо должна преодолѣвать не только это сопротивленіе, но и треніе на оси и жесткость шнура или веревки.

Другой родъ блока есть такъ-называемый *подвижный блокъ*, въ которомъ не обойма укреплена неподвижно, а напротивъ, одинъ конецъ веревки, на который прежде дѣйствовало сопротивленіе, сдѣланъ неподвижнымъ, сопротивленіе же приложено къ обоймѣ, которая можетъ подвигаться кверху и книзу въ ту пору, какъ блокъ вращается около своей оси, заключенной по-прежнему въ обоймѣ.

Мы рассмотримъ здѣсь только случай, всего чаще встрѣчающійся, именно, — когда обѣ веревки между собою параллельны; положимъ, что дѣйстви-



Черт. 73.

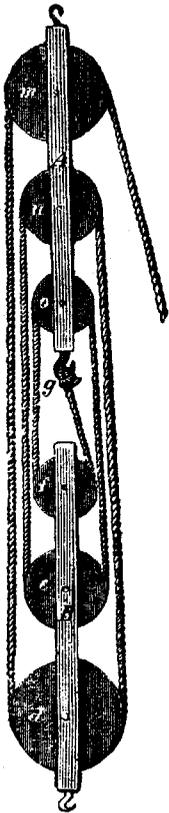
емъ силы въ какое-нибудь время грузъ приложенный къ обоймѣ блока поднялся на одинъ дюймъ; каждый конецъ петли, въ которой виситъ блокъ, сдѣлался на дюймъ ко-

роче; слѣдовательно, длина веревки перешедшей на, сторону силы будетъ два дюйма; слѣдовательно, если подъемъ происходитъ равномерно, то для него нужна сила вдвое меньшая, чѣмъ грузъ ею поднимаемый.

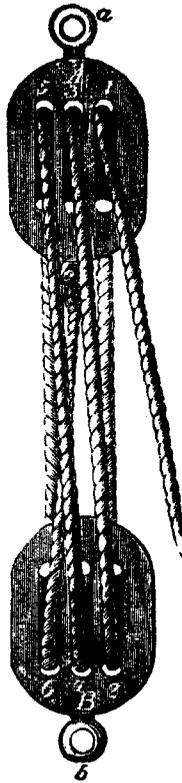
Весьма примѣчательное соединеніе блоковъ представляетъ собою полиспасть, состоящій изъ двухъ обоймъ, одной подвижной и другой неподвижной; обѣ обоймы заключаютъ въ себѣ равное число блоковъ (на чертежѣ по 3 блока) и соединены между собою слѣдующимъ образомъ: къ неподвижной обоймѣ укрѣплена однимъ концомъ веревка, которая, спускаясь къ одному изъ блоковъ подвижной обоймы, обхватываетъ его и восходитъ на блокъ неподвижной обоймы; обхвативъ его, спускается на другой блокъ подвижной обоймы и обнявъ его идетъ вокругъ слѣдующаго блока неподвижной обоймы, затѣмъ спускается снова къ блоку подвижной и оттуда поднимается опять на неподвижную обойму, и такъ далѣе; наконецъ обхватываетъ послѣдній блокъ неподвижной обоймы и нисходя съ него оканчивается другимъ концомъ, на который уже дѣйствуетъ движущее усиліе.

Весьма легко опредѣлить, какъ велика должна быть сила приложенная къ концу веревки для того, чтобы движеніе происходило равномерно; по-

ложимъ опять, что нижняя подвижная обойма и вмѣстѣ грузъ, къ ней привѣшенный, поднялся на одинъ дюймъ. Всѣ веревки соединяющія неподвижную обойму съ подвижною, стали короче на одинъ дюймъ; слѣдовательно, съ послѣдняго блока сошла



Черт. 74



Черт. 75.

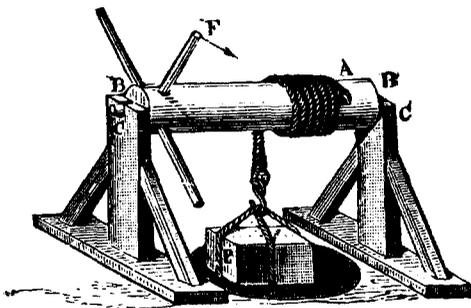
по направленію силы длина веревки, заключающая въ себѣ столько дюймовъ, сколько веревокъ находится въ полиспастѣ; а потому сила проходитъ здѣсь путь во столько разъ большій, чѣмъ сопротивленіе, сколько въ полиспастѣ есть веревокъ; а потому самому для равномернаго подъема сила должна быть во столько разъ меньше сопротивленія, сколько

веревекъ заключается въ полиспастѣ. Но веревокъ очевидно въ полиспастѣ столько же, сколько и блоковъ; слѣдовательно, усиліе, поднимающее

посредствомъ полиспаста извѣстный грузъ, меньше этого груза въ 4, въ 6, въ 8 и т. д. разъ, если полиспастъ заключаетъ въ себѣ 4, 6, 8 и т. д. блоковъ.

Въ дѣйствительности, впрочемъ, нужно усиліе бѣльшее: ибо вредныя сопротивленія, состоящія изъ жесткости веревокъ и тренія на осяхъ, поглощаютъ въ полиспастѣ очень много работы.

*Вѣрты и ихъ соединенія.* Вѣротъ есть машина, состоящая изъ вала могущаго вращаться около оси и наглухо соединеннаго съ большимъ колесомъ, касательно къ которому прилагается движущая сила, и котораго діаметръ превосходитъ діаметръ вала; иногда вмѣсто-того, чтобы сажать на валъ колесо (черт. 76), его соединяютъ съ одною или нѣсколькими длинными рукоятями, хвата-



Черт. 76.

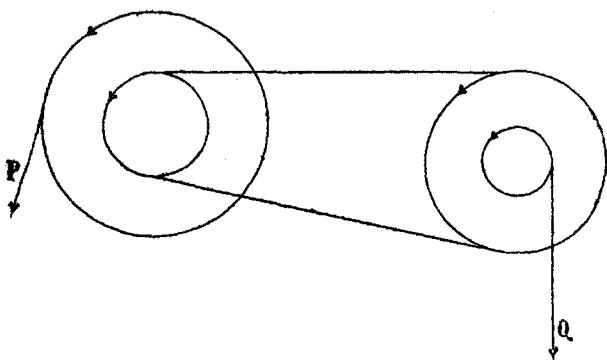
таясь за которыя можно вращать валъ. Къ валу однимъ концомъ укрѣплена веревка, могущая на него навиваться; другой конецъ этой веревки соединенъ съ поднимаемымъ грузомъ.

Ясно, что когда валъ дѣлаетъ одинъ обо-

ротъ, то грузъ поднимается на высоту, равную окружности вала; но въ то же время точка приложенія силы подвигается на длину равную окружности колеса, или окружности описываемой рукоятью; этотъ путь проходимый силою во столько разъ больше пути, проходимаго сопротивленіемъ, во сколько разъ радіусъ колеса или длина рукояти больше чѣмъ радіусъ вала. А потому и сила необходимая для равномернаго подъема груза во столько разъ меньше, чѣмъ сопротивленіе, во сколько разъ радіусъ колеса или длина рукояти больше, чѣмъ радіусъ вала.

Весьма часто для того, чтобы еще болѣе уменьшить силу необходимую для подъема груза или вообще для преодоленія извѣстнаго сопротивленія, употребляютъ не одинъ вѣртокъ, а цѣлую ихъ систему, причемъ они соединяются между собою или безконечными ремнями, или зубчатыми колесами, или въ случаѣ самыхъ легкихъ механизмовъ, просто нажимаютъ валъ одного вѣрота къ колесу другаго; посредствомъ такого соединенія можно заставить точку приложенія силы двигаться значительно быстрее, чѣмъ идетъ поднимаемый грузъ, или вообще преодолеваемое сопротивленіе, а потому самому можно въ томъ же отношеніи уменьшить необходимую для преодоленія этого груза силу.

Соединение воротъ посредствомъ безконечныхъ ремней производится слѣдующимъ образомъ: касательно къ окружности колеса одного изъ воротъ прилагаютъ движущую силу; черезъ валъ этого воротъ, или всего чаще черезъ особый шхивъ посаженный на валъ, перекидываютъ одну петлю безконечнаго ремня, другая петля котораго обхва-



Черт. 77.

тываетъ колесо (называемое также шхивомъ) другаго воротъ; ремень натягивается достаточно для

того, чтобы онъ не скользилъ по шхивамъ, но увлекался бы въ движеніе тѣмъ шхивомъ, который сидитъ на одной оси съ движущимъ колесомъ, и приводилъ бы въ движеніе большой шхивъ другаго воротъ; сопротивленіе прилагается къ валу этого послѣдняго, напримѣръ посредствомъ веревки, навивающейся на валъ, и держащей на другомъ своемъ концѣ какой-нибудь грузъ.

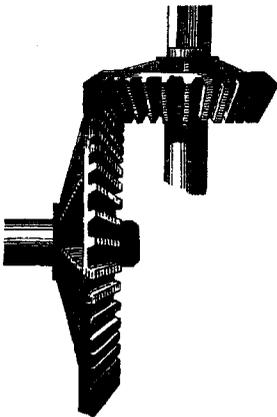
Положимъ, что движущее колесо перваго воротъ

та въ 6 разъ больше, чѣмъ шхивъ его, черезъ который перекинутъ ремень, и что шхивъ втораго ворота въ 5 разъ больше, чѣмъ валъ, на который навивается веревка поднимающая грузъ. Ясно, что точка приложенія силы, дѣйствующей касательно къ колесу перваго вѣрота, идетъ въ 6 разъ быстрее, чѣмъ точка лежащая на окружности шхива перваго вѣрота, слѣд. въ 6 разъ также быстрее, чѣмъ точка принадлежащая окружности шхива втораго вѣрота (ибо эти точки движутся точно также, какъ и точки лежащія на окружности шхива перваго вѣрота: сколько ремня взойдетъ на первый шхивъ, столько же ремня сойдетъ со втораго шхива). Но эти послѣднія точки движутся съ своей стороны въ 5 разъ быстрее, чѣмъ точки лежащія на окружности вала (ибо въ то же время, какъ сіи послѣднія, описываютъ окружность въ 5 разъ бѣльшую); слѣд. всего выйдетъ, что точка приложенія силы движется въ  $6 \times 5 = 30$  разъ быстрее, чѣмъ точка приложенія сопротивленія, а слѣд. сила необходимая для равномернаго подъема груза въ этой машинѣ будетъ въ 30 разъ меньше сопротивленія.

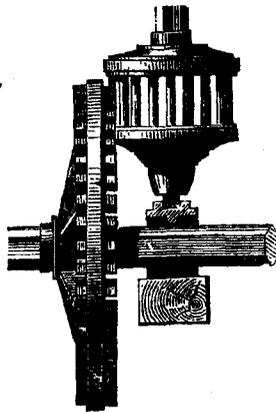
Въ томъ случаѣ, когда вѣроты соединяются посредствомъ зубчатыхъ колесъ, мѣньшее изъ нихъ, какъ уже мы замѣчали, называется шестернею; рассматривая часы мы показали, какимъ-образомъ въ

случаѣ употребленія зубчатыхъ колесъ разсчитать отношеніе между скоростями различныхъ точекъ системы; а изъ этого отношенія прямо слѣдуетъ и отношеніе между силами и сопротивленіемъ, которыя дѣйствуютъ на машину: ибо, какъ мы уже замѣтили, сила будетъ во столько разъ меньше сопротивленія, во сколько разъ скорость точки ея приложенія больше, чѣмъ скорость той точки, въ которой дѣйствуетъ сопротивленіе.

Замѣтимъ здѣсь только, что посредствомъ зубчатыхъ колесъ, подобныхъ тѣмъ, которыя были описаны выше, можно передавать движеніе только между осями параллельными. Но нерѣдко въ ма-



Черт. 78.



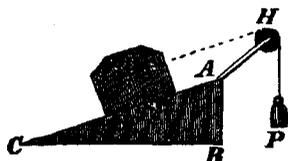
Черт. 79.

шинномъ дѣлѣ встрѣчается необходимость передавать движеніе между осями пересѣкающимися; тогда употребляютъ или такъ называемыя коническія ко-

леса, или соединеніе гребневаго колеса съ цѣвочною шестернею (черт. 78 и 79), которыхъ

устройство совершенно ясно изъ прилагаемыхъ чертежей.

*Наклонная плоскость.* Когда значительный грузъ требуется поднять на высоту, то весьма часто употребляютъ для этой цѣли наклонную плоскость, т.-е. устраиваютъ наклонный къ горизонту помостъ, по которому и вдвигаютъ грузъ на высоту; всего чаще употребляютъ при этомъ для его передвиженія силу параллельную наклонной плоскости; посмотримъ, какъ велика должна быть эта сила для того, чтобы она могла равномерно поднимать известный грузъ, наприм. какого вѣса должна быть гири  $P$ , могущая поднять по наклонной плоскости  $AC$  грузъ  $D$ , положимъ, въ 50 пудовъ. Для рѣшенія этого вопроса вообразимъ, что грузъ дѣйствительно поднялся на высоту  $AB$ , т.-е. прошелъ по наклонной плоскости отъ  $C$  до  $A$ ; гири  $P$  спу-



Черт. 80.

стилась на высоту равную длинѣ наклонной плоскости, грузъ же въ 50 пудовъ поднялся только на высоту  $AB$ ; слѣд. для равномерности движенія необходимо, чтобы гири

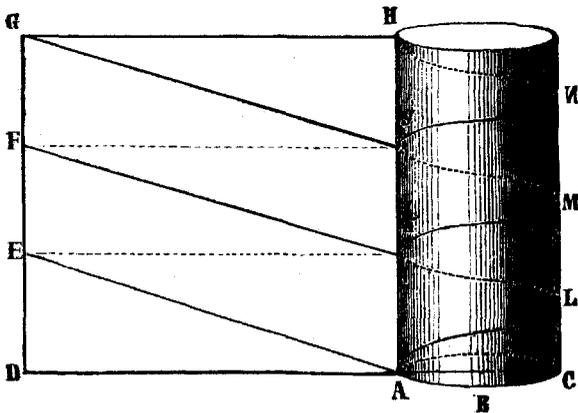
$P$  была во столько разъ легче, чѣмъ поднимаемый грузъ въ 50 пудовъ, во сколько разъ длина наклонной плоскости больше, чѣмъ ея высота. Если

напр. наклонная плоскость дотога отлога, что длина  $AB$  составляет только  $\frac{1}{50}$  долю  $AC$  то гиря  $P$  должна быть только въ одинъ пудъ въ-сомъ.

Весьма важное приложеніе наклонной плоскости представляетъ клинъ, который, какъ извѣстно, весьма часто употребляется для преодоленія очень значительныхъ сопротивленій; вообразимъ, напри-мѣръ, что мы хотимъ прямо приподнять по вертикальному направленію грузъ  $D$  (пред. черт.), не перемѣщая его по направленію горизонтальному; мы можемъ для достиженія этой цѣли помѣстить грузъ  $D$  между вертикальными распорками и подъ него пододвигать наклонную плоскость  $CAB$ ; грузъ и будетъ при этомъ подниматься, не перемѣщаясь по горизонтальному направленію. Притомъ совершенно ясно, что грузъ поднимется на высоту  $AB$ , равную головѣ клина, тогда, когда точка  $B$  пройдетъ путь равный основанію  $BC$  клина; если сила дѣйствуетъ параллельно линіи  $BC$ , то мы увидимъ, что для равномернаго подъема груза нужно, чтобы сила была меньше его во столько разъ, во сколько разъ голова клина  $AB$  меньше его высоты  $BC$ ; чѣмъ клинъ острѣе, тѣмъ меньше должна быть сила для преодоленія того же сопротивленія; на этомъ основывается употребленіе очень

Острыхъ клинѣвъ для преодоленія весьма значительныхъ сопротивленій посредствомъ небольшихъ усилій. Наши ножи, топоры, долота и вообще всѣ рѣзущіе инструменты, суть ни что иное, какъ клинья болѣе или менѣе острые.

*Винтъ съ гайкою.* Особаго рода машину, имѣющую близкое соотношеніе съ наклонною плоскостью, представляетъ винтъ съ гайкою; чтобы совершенно ясно понять устройство этой машины, вообразимъ вертикальный цилиндръ, и развернемъ на плоскости его боковую поверхность; она представится въ



Черт. 68.

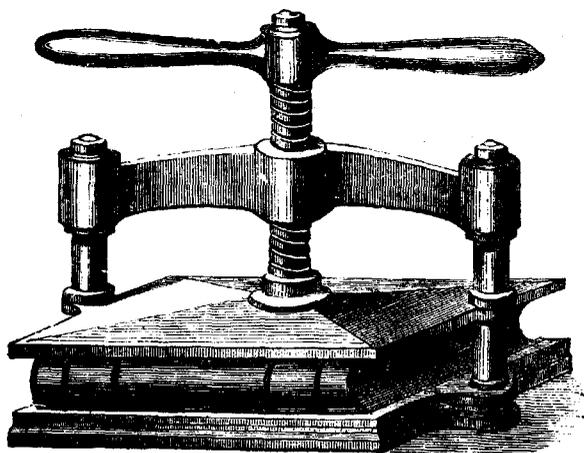
видѣ прямоугольника; раздѣлимъ его высоту въ точкахъ *K, J, H*, на равныя части, и проведемъ прямыя *KE, JF* параллельно основанію, протянемъ также діагонали *AE, KF, JG*; если затѣмъ опять наведемъ на

цилиндръ поверхность со всѣмъ сдѣланнымъ на ней чертежемъ, то діагонали составятъ собою сплошную поднимающуюся по цилиндру кривую линію, которая и называется *винтовою*; часть этой винтовой линіи, между ея пересѣченіями съ одною и тою же производящею цилиндра, называется обыкновенно *виткомъ* или *оборотомъ*; а часть производящей между тѣми же пересѣченіями заключенная, называется *ходомъ* или *шагомъ* винта; уголъ, который составляетъ діагональ производящая винтовую линію съ основаніемъ винта, именуется угломъ крутизны, или угломъ подъема винта. Онъ очевидно тѣмъ больше, чѣмъ больше ходъ винта, и тѣмъ меньше, чѣмъ больше радіусъ основанія цилиндра. Если по этой винтовой линіи сдѣлаемъ наръзку, которая бы въ поперечномъ сѣченіи постоянно представляла прямоугольникъ или равнобедренный треугольникъ, то получимъ такъ-называемый *прямоугольный* или *остроугольный* винтъ.

Если затѣмъ возьмемъ пустой цилиндръ діаметромъ равный винтовому стержню, и въ его стѣнкахъ сдѣлаемъ вырѣзку, — соотвѣтствующею винтовой наръзкѣ, то стержень съ своею наръзкою можетъ помѣщаться внутри полученной такимъ-образомъ пустоты, называемой *гайкою*, и можетъ внутри ея обращаться, причемъ однако будетъ двигаться

по направленію своей оси, такъ, что винтъ, дѣлая внутри гайки полный оборотъ, въ то же время выходитъ изъ нея, или входитъ во внутрь ея на длину своего хода.

Употребленіе винта съ гайкою весьма разнообразно. Когда винтъ употребляется въ видѣ машины для преодоленія сопротивленій, какъ въ прессахъ и т. п., то обыкновенно сопротивленіе дѣйствуетъ вдоль оси винта, а усиліе прилагается къ особому рычагу, рукояткѣ или ключу, которыми головка винта приводится въ движеніе; отношеніе между силою и сопротивленіемъ, нужное для равномернаго



Черт. 57.

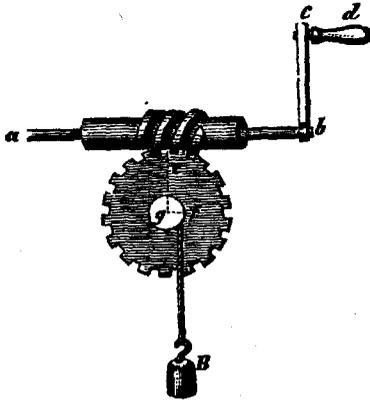
движенія этой машины, очень легко опредѣлить; на-самомъ-дѣлѣ, когда винтъ сдѣлаетъ одинъ обо-ротъ, то путь пройденный силою будетъ окруж-

ность описанная радіусомъ равнымъ длинѣ рукоятки, а высота, на которую поднялся грузъ, есть ходъ винта; для равенства работъ силы и сопротивленія (т.-е. для равномернаго движенія машины), сопротивление должно быть во столько разъ больше силы, во сколько разъ путь имъ пройденный меньше, чѣмъ путь пройденный силою; слѣдовательно, въ этой машинѣ: *сила во столько разъ меньше сопротивленія, во сколько разъ ходъ винта короче, чѣмъ длина окружности описываемой его ключомъ.*

Трѣніе на винтѣ, клинѣ и наклонной плоскости имѣетъ гораздо болѣе значительное вліяніе, чѣмъ въ рычагѣ и воротѣ, потому-что при тѣхъ же пространствахъ проходимыхъ точками приложенія внѣшнихъ силъ, путь трѣнія (а слѣдовательно и его работа) въ этихъ трехъ машинахъ имѣетъ сравнительно гораздо-большую величину, чѣмъ въ рычагѣ и воротѣ; а потому приближенное отношеніе между силою и сопротивленіемъ, которое мы нашли, оставляя въ сторонѣ вредныя сопротивленія, для рычага и ворота очень недалеко отъ истины, но для наклонной плоскости, клина и винта, довольно значительно отступаетъ отъ дѣйствительнаго. Значительнымъ трѣніемъ, которое необходимо является при движеніи клина и винта, часто пользуются для того, чтобы воспрепятствовать могущимъ произойти

движеніямъ, которыхъ не хотятъ получить. На этомъ основано употребленіе клиньевъ и винтовъ для скрѣпленія между собою частей машинъ и сооружений.

*Безконечный винтъ.* Весьма нерѣдко пользуются винтомъ въ томъ случаѣ, когда желаютъ возможно-простыми средствами передать вращеніе отъ одного вала, ходящаго очень скоро, другому, который долженъ обращаться гораздо медленнѣе. Въ такомъ случаѣ на быстро ходящемъ валѣ *ab* дѣлаютъ винтовую нарѣзку, между оборотами которой



Черт. 83.

могутъ помѣщаться косо нарѣзанные зубцы зубчатого колеса *e*, посаженнаго на медленно вращающійся валъ *q*; очевидно, что когда валъ *ab* сдѣлаетъ одинъ оборотъ, то валъ *q* повернется на уголъ отвѣчающій разстоянію между серединами двухъ послѣдователь-

ныхъ зубцовъ; если на зубчатомъ колесѣ *e* будетъ 18 зубцовъ, какъ это сдѣлано на прилагаемомъ чертежѣ, то валъ *ab* сдѣлаетъ 18 оборотовъ въ то время, какъ валъ *q* сдѣлаетъ только одинъ.

Слѣдовательно, если положимъ, что длина рукоятки,  $cd$ , на которую дѣйствуетъ движущая эту машину сила будетъ въ 4 раза больше, чѣмъ радіусъ вала, на который навивается веревка соединенная съ поднимаемымъ грузомъ, то точка приложенія сопротивленія пройдетъ одинъ разъ длину равную окружности вала въ ту пору, какъ точка приложенія силы 18 разъ пройдетъ окружность въ 4 раза бѣльшую; поэтому путь проходимый сопротивленіемъ въ  $4 \times 18$  или въ 72 раза меньше, чѣмъ путь проходимый силою; а слѣдовательно, чтобы движеніе было равномернo, нужно, чтобы сила въ  $4 \times 18$  раза или въ 72 раза была меньше сопротивленія.

Этими простыми примѣрами, мы заключаемъ приложенія закона передачи работъ къ машинамъ. Мы разобрали лишь одни простѣйшіе случаи; приложенія того же закона къ случаямъ болѣе сложнымъ, потребуетъ только болѣе сложныхъ разсужденій, но самый способъ разсужденій ни сколько не перемѣнится.

Недостатокъ времени, а отчасти и недостаточность тѣхъ немногихъ математическихъ познаній, которыя мы положили въ основаніе развитыхъ здѣсь сужденій, не дозволяютъ намъ входить въ болѣе подробное изложеніе теоріи машинъ. Цѣль наша состояла въ томъ, чтобы втеченіи 18 часовъ, пре-

доставленныхъ въ наше распоряженіе, по-возможности разъяснить основныя механическія понятія, и выставить въ надлежащемъ свѣтѣ главные законы, управляющіе движеніемъ машинъ; при этомъ мы старались сохранить въ разсужденіяхъ научную строгость, которая, кажется намъ, тѣмъ болѣе необходима, въ популярныя чтенія, что онѣ не предполагаютъ въ слушателяхъ привычки обращаться безъ затрудненія съ научными понятіями.

---

# СОДЕРЖАНИЕ.

ЛЕКЦІЯ	I. Назначеніе и общій составъ машинъ . . . . .	3
ЛЕКЦІЯ	II. Кривошипъ. Круглый эксцентрикъ. Ихъ соединеніе въ паровой машинѣ . . . . .	29
ЛЕКЦІЯ	III. Различныя системы паровыхъ машинъ смотря по способу дѣйствія въ нихъ пара. . . . .	71
ЛЕКЦІЯ	IV. Паровой молотъ. Разборъ обстоятельствъ имѣющихъ вліяніе на движеніе и дѣйствіе паровыхъ машинъ . . . . .	103
ЛЕКЦІЯ	V. Водяныя колеса. . . . .	126
ЛЕКЦІЯ	VI. Водяныя колеса. . . . .	149
ЛЕКЦІЯ	VII. Часы. Счетный и боевой механизмъ стѣнныхъ часовъ Понятіе о карманныхъ часахъ . . . . .	174
ЛЕКЦІЯ	VIII. Дѣйствіе силъ на свободное тѣло . . . . .	229
ЛЕКЦІЯ	IX. Работа силы. Зависимость между скоростью тѣла и работами дѣйствующихъ на него силъ . . . . .	269
ЛЕКЦІЯ	X. Приложеніе закона живыхъ силъ къ машинамъ. Работа внутреннихъ силъ отдѣльныхъ частей машины . . . . .	305
ЛЕКЦІЯ	XI. Работа вѣса и другихъ силъ дѣйствующихъ на машину. . . . .	337
ЛЕКЦІЯ	XII. Уравнители движенія машинъ. Законъ передачи работъ. Его приложеніе къ простымъ машинамъ . . . . .	386

## Уважаемые читатели! Уважаемые авторы!

Наше издательство специализируется на выпуске научной и учебной литературы, в том числе монографий, журналов, трудов ученых Российской академии наук, научно-исследовательских институтов и учебных заведений. Мы предлагаем авторам свои услуги на выгодных экономических условиях. При этом мы берем на себя всю работу по подготовке издания — от набора, редактирования и верстки до тиражирования и распространения.



URSS

Среди вышедших и готовящихся к изданию книг мы предлагаем Вам следующие:

- ✓ *Быховский М. А.* Развитие телекоммуникаций: на пути к информационному обществу: История развития электроники в XX столетии.
- ✓ *Быховский М. А.* Развитие телекоммуникаций: на пути к информационному обществу: История телеграфа, телефона и радио до начала XX века.
- ✓ *Быховский М. А.* (ред.) Создание современных систем радиосвязи и телерадиовещания в России: Разработки и исследования Научно-исследовательского института радио.
- ✓ *Быховский М. А.* (ред.) Создание современных систем радиосвязи и телерадиовещания в России: Очерки о жизни и деятельности выдающихся российских ученых, работавших в НИИР.
- ✓ *Быховский М. А.* (ред.) Основы управления использованием радиочастотного спектра. Т. 1–3.
- ✓ *Капун А. Б., Морозов Е. М., Олферьева М. А.* ANSYS в руках инженера: Практическое руководство.
- ✓ *Морозов Е. М., Муйземек А. Ю., Шадский А. С.* ANSYS в руках инженера: Механика разрушения.
- ✓ *Карташов Э. М., Кудинов В. А.* Аналитическая теория теплопроводности и прикладной термоупругости.
- ✓ *Баскаков С. И.* Электродинамика и распространение радиоволн.
- ✓ *Баскаков С. И.* Лекции по теории цепей.
- ✓ *Шапова И. А.* Англо-русский толковый словарь по оптике и оптоэлектронике.
- ✓ *Тарасов Л. В.* Физические основы квантовой электроники: Оптический диапазон.
- ✓ *Тарасов Л. В.* Физика лазера.
- ✓ *Тарасов Л. В.* Четырнадцать лекций о лазерах.
- ✓ *Вайсбурд Ф. И., Панаев Г. А., Савельев Б. Н.* Электронные приборы и усилители.
- ✓ *Ашкинази Л. А.* Электронные лампы: Из прошлого в будущее.
- ✓ *Ашкинази Л. А.* Очень общая метрология, или Метрологический взгляд на физику, технику, социологию и психологию.
- ✓ *Эльясберг П. Е.* Измерительная информация: Сколько ее нужно? Как ее обрабатывать?
- ✓ *Мышелов Е. П.* Введение в метрологию, стандартизацию и сертификацию качества.
- ✓ *Манавва М. М.* Общие сведения о железобетоне: Учебное пособие по курсу «Железобетонные и каменные конструкции».

По всем вопросам Вы можете обратиться к нам:  
 тел. +7 (499) 724-25-45 (многоканальный)  
 или электронной почтой [URSS@URSS.ru](mailto:URSS@URSS.ru)  
 Полный каталог изданий представлен  
 в интернет-магазине: <http://URSS.ru>

Научная и учебная  
литература

# Иван Алексеевич ВЫШНЕГРАДСКИЙ

(1831–1895)



Выдающийся русский ученый-механик, инженер-конструктор и государственный деятель, основоположник теории автоматического регулирования. Родился в Вышнем Волочке Тверской губернии, в семье священника. В 1851 г. окончил физико-математический факультет Главного педагогического института (Санкт-Петербург). В 1854 г. защитил в Петербургском университете магистерскую диссертацию и стал преподавать математику в Михайловском артиллерийском училище (с 1855 г. академия). В 1862 г. был утвержден профессором механики Петербургского технологического института, а в 1865 г. — профессором практической механики Михайловской артиллерийской академии. В 1867–1878 гг. работал инженером-механиком в Главном артиллерийском управлении. С 1875 г. — директор Петербургского технологического института. С 1887 г. — управляющий министерством финансов, а в 1888–1892 гг. — министр финансов России. С 1883 г. — почетный член Петербургской академии наук.

Научные заслуги И. А. Вышнеградского наиболее значительны в области теории автоматического регулирования. Его труды «О регуляторах прямого действия» (1877; первая теоретическая работа, позволившая рационально рассчитывать регуляторы этого типа) и «О регуляторах непрямого действия» (1878) оказали большое влияние на последующие работы по регулированию. Установленное им условие устойчивости системы регулирования известно в мировой технической литературе как критерий Вышнеградского. Он также создал научную школу в области конструирования машин; большой его заслугой является введение преподавания в России теоретических основ машиностроения; им был сконструирован целый ряд интересных машин и механизмов. И. А. Вышнеградский получил широкую известность и как популяризатор научных знаний; его лекции о машинах и механической теории теплоты могут служить образцом научно-популярной литературы.

## Наше издательство предлагает следующие книги:



11969 ID 160685



9 1785 397 031677 >

Отзывы  
а также обнаружен  
пс  
Ваши замечания и п  
и отражены н  
в нашем интернет-магазине

интернет-магазин  
**OZON.ru** E-mail:  
URSS@URSS.ru  
каталог изданий  
Интернете:  
68215793  
http://URSS.ru

**URSS** НАШИ НОВЫЕ ТЕЛЕФОН/ФАКС +7(499)724-25-45  
КООРДИНАТЫ (многоканальный)  
117335, Москва, Нахимовский пр-т, 56